

Aus der Abteilung Bodenkunde und Bodenerhaltung
des Tropeninstituts
und des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Abt.-Leiter: Professor Dr. L. Jung

Bodenversalzung
durch einige Mineralquellen der Wetterau

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Sirus Ebrahimi-Ardjomand
aus Täbriz / Iran

Gießen 1970

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Abteilung Bodenkunde und Bodenerhaltung
des Tropeninstituts
und des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Abt.-Leiter: Professor Dr. L. Jung

Bodenversalzung
durch einige Mineralquellen der Wetterau

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Sirus Ebrahimi-Ardjomand
aus Täbriz / Iran

Gießen 1970



Dekan:

Professor Dr. R. Waßmuth

1. Berichterstatter: Professor Dr. L. Jung

2. Berichterstatter: Professor Dr. E. Schönhals

Tag der mündlichen Prüfung: 2. Juni 1970

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung	5
II. Allgemeine Beschreibung der Untersuchungs- gebiete	6
1. Geographische Lage und Klima	6
2. Geologischer und petrographischer Aufbau	9
3. Vegetation und Bodennutzung	13
4. Lage der Untersuchungsgebiete und der Quellen	16
a. Münzenberg	16
b. Wisselsheim	17
c. Grund-Schwalheim	17
III. Untersuchungsmethodik	22
1. Bodenuntersuchung	22
a. pH-Wertbestimmung	22
b. Bestimmung der Bodenfarbe	22
c. Kalziumkarbonatbestimmung	22
d. Bestimmung der Kornverteilung	22
e. Bestimmung der Bodenart	23
f. Kapillare Aufstiegs geschwindigkeit ..	23
g. Bestimmung der organischen Substanz ..	23
h. Bestimmung der wasserlöslichen Salze ..	23
i. Bestimmung der Austauschkapazität ...	24
2. Grundwasseruntersuchung	24
IV. Die Bodenprofile	26
1. Profilbeschreibung	26
2. Kornverteilung	32
3. Kapillare Aufstiegs geschwindigkeit	37
V. Die salzhaltigen Böden bei Münzenberg	44
1. Das Grundwasser im Boden	44

	Seite
2. Chemische Eigenschaften des Bodens	46
a. Organische Substanz	46
b. Leichtlösliche Salze	48
c. Austauschkapazität und austauschbare Kationen	50
VI. Die salzhaltigen Böden bei Wisselsheim	52
1. Das Grundwasser im Boden	52
2. Chemische Eigenschaften des Bodens	53
a. Organische Substanz	53
b. Leichtlösliche Salze	55
c. Austauschkapazität und austauschbare Kationen	59
VII. Die salzhaltigen Böden bei Grund-Schwalheim	62
1. Das Grundwasser im Boden	62
2. Chemische Eigenschaften des Bodens	64
a. Organische Substanz	64
b. Leichtlösliche Salze	64
c. Austauschkapazität und austauschbare Kationen	67
VIII. Erörterung der Salzdynamik in den drei Ge- bieten	69
1. Münzenberg	71
2. Wisselsheim	76
3. Grund-Schwalheim	85
IX. Klassifikation der untersuchten Böden	92
X. Zusammenfassung	97
Literaturverzeichnis	100

I. EINLEITUNG

Salzböden sind die Folge von salzhaltigem Bodenwasser, insbesondere salzhaltigem Grundwasser. Infolge starker Verdunstung in ariden Klimabereichen reichern sich die Salze im gesamten Bodenprofil an und stellen damit den Farmer, der auf solchen Standorten arbeiten muß, vor sehr schwere Probleme.

Es ist aber nicht immer möglich, durch einfache Wasserzuführung oder Auswaschungen ungünstige Flächen zu kultivieren und nutzbar zu machen. Niederschläge und Temperaturen einerseits und geomorphologische Verhältnisse andererseits im ariden und semiariden Klimabereich bewirken die Entstehung von salzreichen kulturfelndlichen Böden.

Obwohl die Salzböden in ariden und semiariden Klimagebieten flächenmäßig sehr verbreitet sind, kann die Bedeutung von salzhaltigen Böden unter dem Einfluß salzhaltiger Quellen und salzhaltigen Meerwassers im humiden Klimabereich nicht bestritten werden. Nach "KUHESTANI (1965)" liegen über 50 % der Festlandflächen der Erde im ariden oder semiariden Bereich und 37 % der Festlandflächen sind ständig unter Einfluß salzhaltigen Grundwassers.

So konnte FABER (1930) bei der Untersuchung der Salzflora in Hessen und seinen Nachbargebieten an 13 von 62 Stellen versalzten Böden feststellen, die meist durch salzhaltige Quellen bedingt sind. In vorliegender Arbeit werden 3 versalzten Flächen in der Wetterau, nämlich bei Münzenberg, Wisselsheim und Grund-Schwalheim untersucht. Die Arbeit soll Aufschluß über den Salzhaushalt der Böden geben und Schwankungen in der Kationenzusammensetzung aufzeigen. Die Messungen wurden im Frühjahr und im Herbst der Jahre 1967 und 1968 durchgeführt.

II. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHUNGSGBIETE

1. Geographische Lage und Klima

Die Untersuchungsgebiete Münzenberg (150 m über NN) und Wisselsheim (140 m über NN) liegen in der Talaue der Wetter. Wisselsheim liegt etwa 9 km südlich von Münzenberg, während sich die Untersuchungsfläche Grund-Schwalheim (127 m über NN) im Tal der Horloff 10 km nordöstlich von Wisselsheim befindet.

Klimatisch ergeben sich keine großen Unterschiede zwischen den einzelnen Orten, wie die langjährigen Mittel des Niederschlags zeigen. Für Grund-Schwalheim wurden die Niederschlagswerte von Echzell, für Wisselsheim die von Bad Nauheim angenommen. Temperaturmessungen werden nur in Bad Nauheim durchgeführt, können jedoch als repräsentativ für die beiden Orte angesehen werden.

Der Winter 1966 und 1967 war relativ mild im Vergleich zum langjährigen Mittel. Die Sommertemperaturen deckten sich etwa mit den langjährigen Messungen. Der Oktober 1967 war etwas wärmer als die Vergleichstemperatur des langjährigen Monatsmittels. November und Dezember 1967 lagen dagegen etwas unter dem Monatsmittel der langjährigen Messungen. Wie die Niederschlagsmessungen im Jahr 1967 zeigen, war der Januar ausgesprochen niederschlagsarm. An allen 3 Orten wurden nur rund 50 % der mittleren Niederschlagssumme erreicht. Der Februar brachte eine normale Niederschlagsmenge. Im März waren dagegen im Vergleich zum langjährigen Mittel in Münzenberg und Wisselsheim um rund 60 % höhere Niederschlagsmengen als im langjährigen Mittel zu beobachten. In Grund-Schwalheim lag die Niederschlagsmenge im März sogar dreimal so hoch wie das langjährige Mittel. Im April war lediglich in Grund-Schwalheim eine um 30 % höhere Niederschlagsmenge gegenüber den lang-

jährigen Messungen zu beobachten (Tabelle 1). Im Mai 1967 lagen die Niederschlagswerte in Münzenberg und Wisselsheim um rund 50 % über den Normalwerten. In Grund-Schwalheim stieg der Niederschlag nur geringfügig über den Normalwert. Dagegen brachte der Juni um 20 - 30 % geringere Niederschläge als das langjährige Mittel. Auch der Juli war besonders trocken. In Münzenberg und Grund-Schwalheim wurden Regenmengen um 25 - 30 % unter den Normalwerten abgelesen; in Wisselsheim sogar um über 50 % weniger. Im August wurden in Münzenberg und Grund-Schwalheim wieder die Normalwerte erreicht, in Wisselsheim dagegen nur 80 % des Normalwertes. Der September war extrem feucht, so daß an allen 3 Untersuchungsstellen der Niederschlag um rund 100 % über dem langjährigen Mittel lag. Auch im Oktober 1967 fielen höhere Niederschläge als das langjährige Mittel erwarten ließ, und zwar in Münzenberg und Grund-Schwalheim um fast 50 % und in Wisselsheim um 20 % höher als die Normalwerte. Die Regenmengen im November erreichten in Münzenberg um rund 60 % höhere Werte als normal; in Grund-Schwalheim dagegen nur um 10 %; in Wisselsheim war die Niederschlagsmenge im November normal. Der Dezember wiederum war niederschlagsreich. Er brachte in Münzenberg rund 10 % höheren Niederschlag, in Grund-Schwalheim rund 20 % und in Wisselsheim rund 25 % höhere Niederschläge als im langjährigen Mittel.

Hieraus ergibt sich, daß der Sommer nach einem feuchten Frühjahr besonders trocken war. Der Herbst war von September bis Dezember regenreicher als normal. Dies ergibt besonders günstige Voraussetzungen für witterungsbedingte Unterschiede im Salzgebiet der untersuchten Böden. Allerdings traten trotzdem keine Perioden des ausgesprochenen Niederschlagsdefizits im Sinne des Klimadiagramms (WALTER, H. und LIETH, H., 1960) auf.

Tabelle (1)

Ort	Jahr	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
<u>Langjährige (1955-1965) monatl. Niederschlagssumme (mm)</u>													
Münzenberg		40	34	31	36	45	57	65	56	46	43	40	43
Echzell		41	33	32	37	50	65	67	65	51	51	45	41
Bad Nauheim		45	37	36	39	47	60	65	60	48	46	47	47
----- Monatliche Niederschlagssummen -----													
Münzenberg	1965	80,1	12,3	40,7	62,5	51,2	87,9	103,0	52,9	44,1	3,8	86,4	90,3
Echzell	1965	108,0	13,6	55,0	100,9	46,3	143,3	157,8	50,6	60,7	9,4	107,3	119,0
Bad Nauheim	1965	88,5	15,9	53,6	69,1	42,4	112,7	127,4	42,5	58,6	2,5	109,6	120,2
Münzenberg	1966	18,6	42,1	39,6	68,8	41,5	61,5	132,1	47,9	14,8	61,1	52,0	97,2
Echzell	1966	31,2	39,4	25,6	66,9	51,7	52,5	123,3	59,5	14,5	63,3	54,8	91,0
Bad Nauheim	1966	26,4	37,9	41,9	72,6	42,5	75,4	102,5	58,4	17,3	60,7	52,6	125,3
Münzenberg	1967	20,8	35,2	54,6	39,5	65,3	46,2	50,5	57,8	88,9	59,6	67,0	47,2
Echzell	1967	23,7	37,5	85,1	51,4	53,7	48,7	41,2	63,1	105,1	73,4	51,4	49,5
Bad Nauheim	1967	25,2	39,3	56,1	43,4	73,8	39,0	29,8	50,9	103,7	64,2	46,4	59,7
<u>Langjährige (1955-1965) Monatsmitteltemperaturen (°C)</u>													
Bad Nauheim		0,1	0,7	4,7	9,2	13,6	16,8	18,4	17,6	14,2	9,0	4,7	1,2
----- Monatsmitteltemperaturen (°C) -----													
Bad Nauheim	1965	2,2	0,0	4,3	8,0	13,0	17,0	16,4	15,9	12,8	8,0	2,5	3,8
Bad Nauheim	1966	1,6	6,1	4,6	10,0	14,4	17,8	16,1	16,7	14,0	11,6	2,4	2,9
Bad Nauheim	1967	2,0	3,6	6,4	8,2	13,6	16,1	19,8	17,3	14,0	11,5	3,7	0,6

Ein gewisser Salzaufstieg konnte im Juli besonders in Wisselsheim kurzfristig erwartet werden. Immerhin reichen die dazwischen auftretenden Niederschläge ständig für eine Einwaschung der Salze in tiefere Horizonte aus.

2. Geologischer und petrographischer Aufbau

Auf Grund von Bohrungen (SCHOTTLER, 1919 und 1924) wird der Sockel, der die bodenbildenden Gesteine der Untersuchungsgebiete trägt, von unterdevonischen Grauwacken, Grauwackenschiefern und Grauwackensandsteinen gebildet. Auf ihm lagern direkt tertiäre Sedimente, die zum Teil bodenbildend auftreten. Das Mesozoikum fehlt vollkommen und konnte bei keiner Bohrung festgestellt werden. Die fruchtbaren Böden der Wetterau sind aber in dem während den Eiszeiten angewehten feinsandigen und kalkreichen Staub (LÖB) gebildet worden, der neben dem tertiären Material auch in die Täler umgelagert wurde. Holozäne Sedimente wie sandige und tonige Lehme lagerten Wetter und Horloff ab (v. ERFFA, 1969).

Der Salzgehalt aller drei Untersuchungsgebiete ist auf Zechstein-Salzlager des östlichen Vogelsberges zurückzuführen. Hier werden die Salze in der Tiefe gelöst und unterirdisch nach Südwesten transportiert.

Am nördlichen Gebietsrand verläuft das Wettertal entlang einer großen SW-NO-Störung, an der an verschiedenen Stellen Salzquellen auftreten. An tektonischen Bruchlinien kann die aus östlicher Richtung herankommende Sole nicht weiterfließen, sondern steigt, unterstützt vom Kohlensäuredruck, nach oben (v. ERFFA, 1969). Nach SCHÖNHALS (1936) erfolgt der Stau der Solquellen in Bad Nauheim an dem Rand einer Massenkalkscholle, die an unterdevonischen Schiefern abgesunken ist. Die Kohlensäure im Untersuchungsgebiet ist vulkanischen Ursprungs und kommt deshalb

aus größeren Tiefen als die Sol- und Süßwasserströme, mit denen sie aufsteigt.

An der östlichen Randspalte des Horloffgrabens begünstigt der gradlinige Verlauf der jungen Verwerfung das Austreten der Säuerlinge. Am Westrand des Horloffgrabens dagegen sind die Spalten durch verwickelteren Verlauf und Pressung der Schollen vermutlich geschlossen.

Die Quellen bei Wisselsheim sind auf zwei Verwerfungen zurückzuführen. Die Eichberg-Verwerfung verläuft in südwestlicher Richtung bis Löwenthal, von hier nach Südsüdost. Auf dieser Störung entspringen die Quellen südlich Löwenthal und der an der Wetter gelegene Selzerbrunnen (SCHÖNHALS, 1936).

Eine zweite Verwerfung (Wettertal-Verwerfung) verläuft in Nordnordwest-Richtung. Auf dieser entspringen die Quellen östlich und nordöstlich vom Gut Löwenthal.

Nach SCHÖNHALS (1936) erscheinen die Salzquellen zu Beginn des Pleistozäns. Die zu dieser Zeit eingetretenen tektonischen Veränderungen in Hessen bewirkten Höhenunterschiede, durch die ein Druckgefälle für die Wanderung der Sole zu den heute vorhandenen Quellen entstand.

Die Lage der zur Untersuchung herangezogenen Böden ist auf den Lagekarten verzeichnet (Abb. 2, 3, 4). Der petrographische Aufbau der Untersuchungsgebiete geht aus Karte 1 hervor.

Die Täler der Horloff und Wetter folgen im wesentlichen geologischen Strukturen, die den nördlichen Teil der Wetterau stark gegliedert haben. Es ist dies am Ostrand der Abbildung (1) der Nord-Süd verlaufende Horloffgraben, dessen Füllung aus tertiären Mergeln und Mergelsanden besteht.

PETROGRAFISCHE KARTE



Ausschnitt aus: GEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE VON HESSEN M. 1:300 000
 Hessisches Landesamt für Bodenforschung, WIESBADEN 1960

Legende siehe Seite 12

Legende zur Petrographischen Karte Abb. 1

Q U A R T Ä R	HOLOZÄN		Lehm, Sand, Kies
			Lehm, Sand, Ton mit Gesteinsbruchstücken
			Feinsandiger Schluff mit feinsandigem Lehm
	PLEISTOZÄN		Kies und Sand (Hochterrassen)
			Kies und Sand (Terrassen ungegliedert)
			Kies, Sand, Ton, Braunkohle, Mergel, Mergelsand
	PLIOZÄN		Eisenstein und Bauxit auf Basalt
	MIOZÄN		Sand, Ton, Braunkohle, Kalkstein
	OLIGOZÄN		Ton, Sand, Mergel, Kalkstein
	Magmatische Bildungen		Basalt
			Basalttuff
D E V O N	MITTEL- DEVON		Riffkalkstein
			Tonschiefer, Quarzit, Grauwackensandstein
	UNTER- DEVON		Tonschiefer, Grauwackensandstein, Porphyroidschiefer
			Quarzit, Sandstein, Tonschiefer

Nach Westen folgt das höher gelegene Gebiet um Münzenberg, wo sich aus einer Folge von tertiären Sandsteinen und Kalksteinen ein Basaltgebiet heraushebt.

Am Westrande des Gebietes treten inselartig Gesteine auf, die als Ostausläufer des Rheinischen Schiefergebirges gelten. Dazu zählen der mitteldevonische Riffkalkstein, ferner Tonschiefer, Grauwacken, Sandsteine und Quarzite, die nach verschiedenen Autoren teils mitteldevonischer, teils unterdevonischer Herkunft sind (v. ERFFA, 1969). Basaltvorkommen unterschiedlicher Ausdehnung sind zwischen Horloff und Wetter verbreitet.

Das verbreitetste Lockergestein ist der bis zu mehreren Metern mächtig werdende Löß, der bis in unterschiedliche Tiefen entkalkt und verlehmt ist. An den Hängen ist der Boden mehr oder weniger stark abgetragen, so daß an diesen Stellen der Löß an die Oberfläche tritt.

In den Tälern sind schluffig-feinsandige Bildungen abgelagert worden, die im wesentlichen die jungen Abtragungsprodukte der Umgebung darstellen.

3. Vegetation und Bodennutzung

Durch das Auftreten von Salzquellen meist aus dem Zechstein stammender Salzlager findet man in Oberhessen eine Anzahl Halophytenstandorte. Sie umfassen jeweils mehrere Hektar Grünland und werden regelmäßig als Wiese und Weide genutzt.

STÄHLIN und BOMMER (1958) stellten fest, daß die Vegetation im Bereich der Quellen und salzwasserführenden Gräben zonenweise wechselt. Dieser Wechsel reicht von einsamen Salzpflanzenbeständen bis zur Glatthaferweide.

Der größte Teil des untersuchten Gebietes von Wisselsheim wird als Standweide, zum Teil auch mit Mähnutzung von einem Gutsbetrieb bewirtschaftet. Die restlichen Flächen werden von kleinen Betrieben als Wiese genutzt.

Einer reinen Mähnutzung unterliegen die salzbeeinflussten, noch ausgedehnteren Bestände bei Münzenberg und Grund-Schwalheim.

In den drei Untersuchungsgebieten kommen mehr oder weniger reine Halophytengesellschaften mit zonenartigen Übergängen zu nicht oder nur gering salzbeeinflussten Grünlandbeständen vor (OSWALD, H., 1927; SCHULZ, A., 1901).

Der gesamte Geländestreifen bei Münzenberg (Abb. 2) zwischen der Bahnlinie und der Landstraße Münzenberg - Oberhörger wird von *AGROSTIS alba* var. *maritima* eingenommen, unter welche sich dann weiter nach Osten *TRIGLOCHIN maritima*, *JUNCUS Gerardi* und *GLAUX maritima* mischen. An den Seiten des zur Wetter führenden Grabens kommen dichte Bestände von *TRIFOLIUM fragiferum* vor. Bei der Salzquelle stehen Exemplare von *HORDEUM secolinum* (FABER, K., 1930).

Im Bereich der Quelle in der Nähe der Junkermühle zeigt der Boden nur schwache Besetzung von Halophyten mit kümmerlichem Wachstum. Neben *JUNCUS Gerardi*, *FESTUCA distans* gedeihen spärlich *TRIGLOCHIN maritima* und andere. Am Wiesenrand tritt *TRIFOLIUM fragiferum* auf.

Grund-Schwalheim zeigt in unmittelbarer Nähe des Römerbrunnens keinen und bei der Kreuzquelle am Rande eines nach Südwesten führenden Grabens schwachen Halophytenwuchs von *AGROSTIS alba* var. *maritima*.

Die untersuchten Stellen und das unmittelbar angrenzende Gelände von Wisselsheim weisen eine Halophytenvegetation auf, die hauptsächlich aus *TRIGLOCHIN maritima* und *GLAUX maritima* besteht.



Bild 1: Blick auf die Salzfläche bei Münzenberg.
Starker Schilfbesatz. Im Vordergrund
JUNCUS Gerardi, FESTUCA distans, TRIFOLIUM
fragiferum und TRIGLOCHIN maritima.
(Aufnahme v. Verfasser)



Bild 2: Blick nach Norden in Richtung Steinfurth
auf die Salzflächen bei Wisselsheim. Im
Vordergrund TRIGLOCHIN maritima, TRIFOLIUM
fragiferum und GLAUX maritima.
(Aufnahme v. Verfasser)

Südlich des vom Hofgut Löwenthal zur Wetterbrücke führenden Fahrweges sind *TRIFOLIUM fragiferum* und *AGROSTIS alba* verbreitet. Nördlich des Weges, in dem unter Naturschutz stehenden Streifen, finden wir vorherrschend *GLAUX maritima*, daneben aber auch *JUNCUS Gerardi*, *PLANTAGO maritima*, *TRIGLOCHIN maritima* und *HORDEUM secalinum*.

Gute und beliebte Futterpflanzen sind die Arten *JUNCUS Gerardi*, *PLANTAGO maritima* und *GLAUX maritima*. Sie werden daher vom Vieh gern als Mäh- und Weidegras gefressen (MÜLLER-STOLL, W.R., 1926). Wegen des hohen Salzgehaltes sind sie jedoch bei alleiniger Fütterung als gesundheitsgefährdend anzusehen.

4. Lage der Untersuchungsgebiete und der Quellen

a. Münzenberg

Der größte Teil der versalzten Böden von Münzenberg liegt südlich der Wetter (Abb. 2). In diesem Gebiet entspringt in der Nähe der Junkermühle eine Quelle (Leitfähigkeit im September 1967 19,1 mmhos/cm), (Rechtswert 83770, Hochwert 91775), deren salzhaltiges Wasser zum Teil direkt in die Wetter fließt und teilweise in der Umgebung der Quelle versickert. Die zweite, kleinere Fläche mit Versalzungserscheinungen breitet sich zwischen der Bahn und der Wetter aus. Zwischen der Bahnlinie und der Landstraße Münzenberg - Oberhörgerm befindet sich ein drittes, mit Salzpflanzen bewachsenes Areal (FABER, K., 1930). Hier, etwa 200 m hinter der Straßenabzweigung Eberstadt - Oberhörgerm nach Münzenberg, entspringt eine weitere salzhaltige Quelle (Leitfähigkeit 25,9 mmhos/cm), (Rechtswert 83125, Hochwert 92250). Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, weist dieser Teil des Gebietes die am stärksten versalzten Stellen auf. Sie umfassen eine Fläche von etwa 5 Hektar.

b. Wisselsheim

Etwa 1/2 km nordwestlich des Dorfes Wisselsheim breiten sich die Salzwiesen aus. In der Nähe der Wetter etwa 100 m südöstlich des Weges, der vom Hofgut Löwenthal zur Wetterbrücke führt, befindet sich eine Quelle (Leitfähigkeit 21,3 mmhos/cm), (Rechtswert 82825, Hochwert 82562), deren salzhaltiges Wasser direkt in die Wetter fließt. Auch 80 m südlich des Hofgutes entspringt eine salzhaltige Quelle (Leitfähigkeit 18,4 mmhos/cm), (Rechtswert 82625, Hochwert 82500). Das ganze Gebiet, an dessen Westrand das Hofgut liegt, wird durch mehrere Gräben in einzelne Abschnitte geteilt. Im Süden wird das Salzgebiet von einem Graben durchschnitten, der fast in westöstlicher Richtung der Wetter entgegenfließt. Ein zweiter Graben, der zunächst in südöstlicher Richtung und dann nach Nordwesten abbiegt, mündet in den vorerwähnten Graben. Alle Gräben sind mehr oder weniger mit Salzwasser angefüllt, so daß es Einfluß auf die Umgebung ausüben kann (Abb. 3).

Nördlich des Weges, der vom Hofgut Löwenthal über die Wetter führt und die Verbindung mit der Landstraße Wisselsheim - Steinfurth herstellt, findet man den interessantesten Teil des Wisselsheimer Salzgebietes. Von einem Salzwasser führenden Graben getrennt, befindet sich an seiner Nordseite ein unter Naturschutz stehender schmaler Landstreifen, der durch eine niedrige Einzäunung abgegrenzt ist. Dieses Naturschutzgebiet ist sehr stark mit üppigen und dichten Salzpflanzen bewachsen.

c. Grund-Schwalheim

Um relativ schwach versalzte Flächen handelt es sich bei Grund-Schwalheim. 800 m westlich des Ortes zweigt die Straße nach Echzell ab. Im Winkel dieser Abzweigung befindet sich die Kreuzquelle (Rechtswert 92537, Hochwert 86700), (Leitfähigkeit 3,0 mmhos/cm). In der Nähe der Kreuzquelle ist das Grundwasser versalzt, im Verhältnis

zu Münzenberg und Wisselsheim allerdings recht schwach.

600 m südlich von Grund-Schwalheim stehen die Gebäude des Mineralwasserbetriebes des Römerbrunnens (Rechtswert 93175, Hochwert 85975), (Leitfähigkeit 7,5 mmhos/cm). Zum Zwecke der Mineralwassergewinnung wurden die Salzquellen gefaßt, wodurch die nur schwache Versalzung des Grundwassers und der Böden zu erklären ist (Abb. 4).

Tabelle (2)

Salzgehalt der Quellen im September 1967

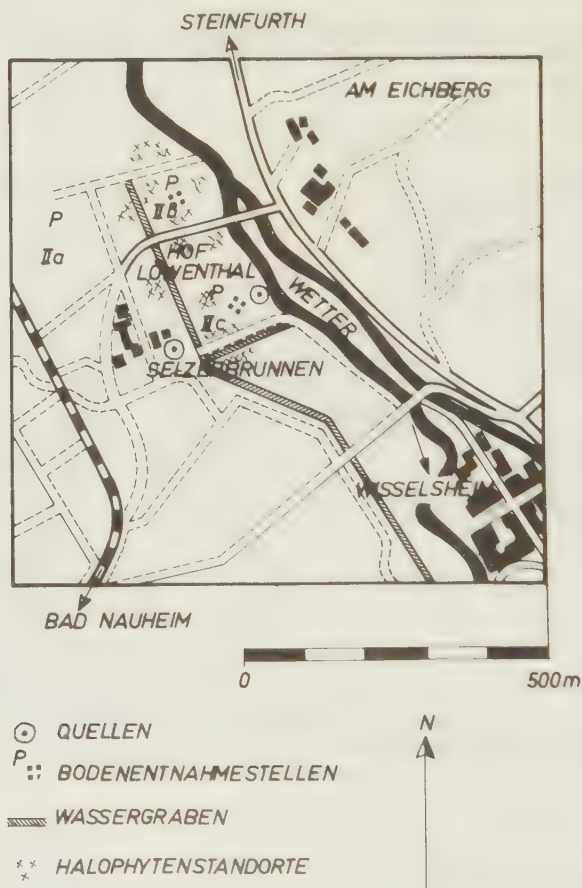
	pH in H ₂ O	Leitfkt. in mmhos/cm bei 25°C	Ca	+Mg	Na	Cl
			mval/l			
Quelle Junkermühle	7,8	19,1	37,0		160,0	183,1
Quelle bei Profil Ib (Münzenberg)	7,9	25,9	47,0		188,5	212,2
Quelle bei Profil IIc	7,4	21,3	37,3		177,0	192,0
Quelle bei Löwenthal (Wisselsheim)	7,9	18,4	31,2		145,6	152,4
Römerbrunnen	7,3	7,5	72,1		31,0	45,3
Kreuzquelle (Grund-Schwalheim)	7,7	3,0	28,5		45,4	18,3

Lageplan der versalzten Böden, der Quellen und der
Bodenprofile (Bodenentnahmestellen) bei Münzenberg

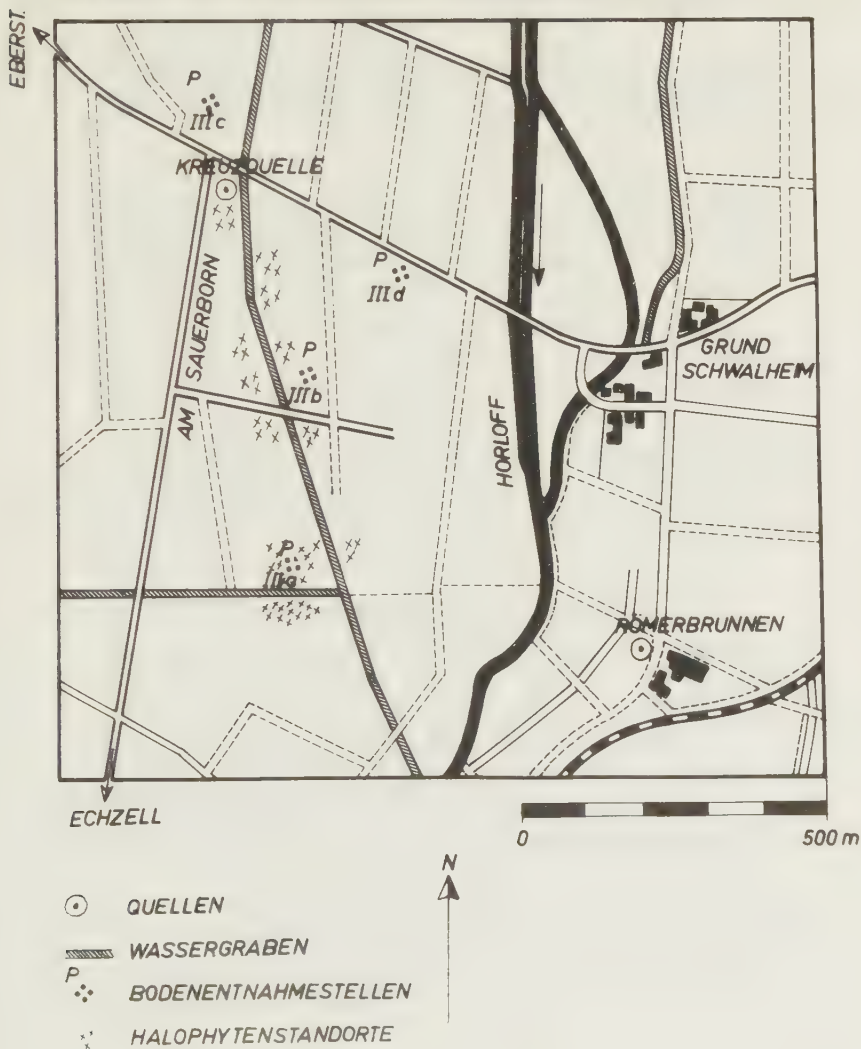


Abb. 3

Lageplan der versalzten Böden, der Quellen und der
Bodenprofile (Bodenentnahmestellen) bei Wisselsheim



Lageplan der versalzten Böden, der Quellen und der Bodenprofile (Bodenentnahmestellen) bei Grund Schwalhm.



III. UNTERSUCHUNGSMETHODIK

1. Bodenuntersuchung

Bei der Aufbereitung und chemischen Untersuchung der Bodenproben wurden die von der UNITED SALINITY LABORATORY aufgezeigten Richtlinien befolgt.

a. pH-Wertbestimmung:

Zur pH-Wertbestimmung fand die Bodenpaste (Boden mit Wasser angerührt bis zur Fließgrenze) Verwendung. Die Glaselektrode und pH-Meter (Typ PHM 22 q a Nr. 41 836 der Firma Radiometer, Kopenhagen) dienten zur Ermittlung der pH-Zahl.

b. Bestimmung der Bodenfarbe:

Die Bodenfarbe wurde mit Hilfe der Farbtafel nach MUNSELL am lufttrockenen und feuchten Feinboden (< 2 mm) durchgeführt. R = rot, Y = gelb, YR = gelbbrot.

c. Kalziumkarbonatbestimmung:

Die Kalziumkarbonatbestimmung erfolgte nach der Methode Scheibler (WIESMANN, H., 1960).

d. Bestimmung der Kornverteilung:

Der Tonanteil wurde nach der Pipettmethode von Köhn (THUN, HERRMANN und KNICKMANN, 1955) ermittelt. Die Sandfraktionen wurden durch Nasssiebung nach der Sedimentationsanalyse von Atterberg (1912) bestimmt. Die Schluffraktion ergab sich aus der Differenz.

Grob- und Mittelsand:	2,0	- 0,2	mm
Feinsand	:	0,2	- 0,06 mm
Schluff	:	0,06	- 0,002 mm
Ton	:	< 0,002	

Die Dispergierung des Bodens wurde mit 4 %igem Natriumhexametaphosphat - Na_2CO_3 nach Jung, L. und Rohmer, W. (1966) vorgenommen.

c. Bestimmung der Bodenart:

Zur Zeichnung der Bodenart diene das Bodenartendiagramm der geologischen Landesämter (KOHL, F., 1965).

f. Kapillare Aufstiegsgeschwindigkeit:

Die Kapillare Aufstiegsgeschwindigkeit wurde nach Enslin durchgeführt. Die Bestimmung erfolgte mit destilliertem Wasser (ENSLIN, O., 1933).

g. Bestimmung der organischen Substanz:

Die organische Substanzbestimmung erfolgte nach Springer und Klee. Die organische Substanz wird mit Hilfe einer 2n Kaliumbichromatlösung und Schwefelsäure vollständig oxydiert und nach Trennen des Substrats wiederum mit 0,1 n Kaliumbichromatlösung titriert (SPRINGER, U. und KLEE, J., 1954). Als Indikator diene eine Diphenylaminsulfonsäurelösung.

h. Bestimmung der wasserlöslichen Salze:

Die Bestimmung der wasserlöslichen Salze erfolgte nach dem "Agriculture Handbook Nr. 60". Aus der durch Wassersättigung vom Boden (Fließgrenze) erhaltenen Bodenpaste erfolgte je nach Bodenart durch Absaugen oder Zentrifugieren, Dekantieren und Filtrieren die Gewinnung eines Extraktes, in dem die elektrische Leitfähigkeit sowie CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ bestimmt werden.

CO_3^{2-} und HCO_3^- werden durch Titration mit 0,01 n H_2SO_4 (pH 8,1 und 4,4) ermittelt. Bei den gleichen Proben kann Cl^- durch Titration mit AgNO_3 erfolgen. Hier dient als Indikator K_2CrO_4 .

Die SO_4 -Ionen wurden titrimetrisch bestimmt. Es werden mit Hilfe eines stark sauren Kationenaustauschers (Ionenaustauscher I.E. Merck AG, Darmstadt) die mehrwertigen Kationen gebunden und die Sulfat-Ionen als BaSO_4 ausgefällt. Das überschüssige Ba wird mit Titriplex III titriert und die SO_4 -Menge daraus errechnet.

Die Bestimmung von Ca und Mg erfolgte komplexometrisch mit Titriplex III (Äthylendiamintetraessigsäure - Dinatriumsalz) (MERCK, E., 1960). Als Indikator dienen für Ca und Mg Eriochromschwarz T bei pH 10 - 11 und Calconcarbonsäure für Ca bei pH 12 - 13,5.

Die Bestimmung von Na wurde mit dem Radiometergerät der Firma Radiometer, Kopenhagen, Type PHM 22 q No. 41 836 mittels Na -Elektrode Nr. E 6180 der Firma Schott und Gen., Mainz durchgeführt.

K wurde flammenphotometrisch ermittelt (Flammenphotometer 2 Nr. 950 Dr. B. Lange, Berlin und Multiflex-Galvanometer, Type MG 2).

i. Bestimmung der Austauschkapazität:

Die Kationenaustauschkapazität und die sorbierten Kationen wurden nach MEHLICH (1948) bestimmt. Durch Ba werden die Kationen ausgetauscht und bestimmt. Das sorbierte Ba entspricht der Austauschkapazität.

2. Grundwasseruntersuchung

Die Entnahme der Grundwasserproben erfolgte jeweils zur Zeit der Profilaufgrabung in unmittelbarer Nähe aus kurz zuvor aufgebohrten Löchern. Hierbei wurde gleichzeitig die Grundwassertiefe gemessen.

Die Proben wurden gefiltert und unverzüglich auf pH-Wert, Leitfähigkeit und lösliche Bestandteile untersucht.

IV. DIE BODENPROFILE

1. Profilbeschreibung

Münzenberg

Lage : 150 m über NN, etwa 1200 m nordwestlich der
Stadt Münzenberg

Klima : Jahresniederschlag 536 mm
Jahrestemperatur etwa 9,3°C

Relief : Eben bis leicht geneigt

Vegetation : Grünland und Halophyten

Profil Ia, Vegetation: Wiese

Rechtswert 83475, Hochwert 92575

Datum der Profilaufnahme: 30.3.1967

Tiefe

0 - 20 cm : Einheitliche Braunfärbung (10 YR - 3,2/
A_h 10 YR - 4,3), mäßig durchwurzelt, stark
humoser lehmiger Schluff, krümeliges Ge-
füge.

20 - 40 cm : Gelblichbraun (10 YR - 3,3/10 YR - 6,3),
G_{or} schwach durchwurzelt, toniger Schluff,
locker, Grundwasserstand 30 cm.

Profil Ib, Vegetation: dichter Schilfbestand

Rechtswert 83700, Hochwert 92675

Datum der Profilaufnahme: 30.3.1967

Tiefe

0 - 20 cm : Hellbraune Farbe (10 YR - 3,3/10 YR - 5,4),
A_h stark durchwurzelt, kaum Horizontgliederung,
toniger Schluff bis Schluff mit einigen
Steinen, dicht gelagert.

20 - 40 cm : Gelblichbraune Farbe (10 YR - 4,3/10 YR - 6,3),
G_{or} stark durchwurzelt, toniger Schluff, sehr
dicht mit Rostflecken, Grundwasserstand bei
35 cm.

Profil Ic, Vegetation: Grünland

Rechtswert 83625, Hochwert 92800

Datum der Profilaufnahme: 30.3.1967

Tiefe

- 0 - 20 cm : Dunkelbraune Farbe (10 YR - 3,2/ 10 YR -
G_oA 4,3), mäßig bis stark durchwurzelt mit
deutlicher Humusanreicherung, lehmiger
Schluff, dicht, Regenwurmgänge.
- 20 - 40 cm : Einheitliche braune Färbung (10 YR - 4,3/
G_oB 10 YR - 6,4), Durchwurzelung mit der Tiefe
abnehmend, schwach humos, toniger Schluff,
dicht, keine auffallenden Eisenausscheidun-
gen, Grundwasserstand bei 30 cm.

Profil Id, Vegetation: dichte Schilfbestände

Rechtswert 83525, Hochwert 92975

Datum der Profilaufnahme: 30.3.1967

Tiefe

- 0 - 20 cm : Brauner (10 YR - 4,3/10 YR - 5,3), sehr
G_oA stark durchwurzelter humoser toniger bis
lehmiger Schluff, Rostflecken, plastisch,
sehr dicht.
- 20 - 40 cm : Hellbrauner (10 YR - 3,4/10 YR - 5,6),
G_o stark durchwurzelter lehmiger bis toniger
Schluff, steinhaltig mit starken Rostflecken,
sehr dicht.

Wisselsheim

Lage : 140 m über NN, etwa 1/2 km nordwestlich
des Dorfes Wisselsheim

Klima : Jahresniederschlag 577 mm
Jahrestemperatur 9,3°C

Relief : Schwach geneigt

Vegetation : Salzpflanzen im Grünland und Schilf

Profil IIa, Vegetation: sehr starke Schilfbestände
Rechtswert 82500, Hochwert 82325
Datum der Profilaufnahme: 30.3.1967

Tiefe

- 0 - 20 cm : Gelblichbraune Farbe (10 YR - 4,3/
G_{0A} 10 YR - 6,3), schluffiger stark durch-
wurzelter Humushorizont bis 20 cm Tiefe,
Eisenflecken, steinhaltig, geringer
CaCO₃-Anteil, dicht gelagert.
- 20 - 40 cm : Rötlich bis gelbbrauner (10 YR - 5,6/
G_{0r} 10 YR - 6,4), schwach humoser, stark
durchwurzelter schluffiger Boden mit
starken Eisenflecken, CaCO₃-haltig,
bröckeliges Gefüge, sehr dicht gelagert,
Grundwasserstand bei 35 cm.

Profil IIb, Vegetation: Grünland
Rechtswert 82325, Hochwert 82250
Datum der Profilaufnahme: 30.3.1967

Tiefe

- 0 - 10 cm : Braungefärbter Humushorizont bis 10 cm
G_{0A} Tiefe (10 YR - 2,2/10 YR - 4,3), stark
durchwurzelter schluffiger Boden mit einzel-
nen Rostflecken.
- 10 - 35 cm: Hellbraun gefärbter (10 YR - 4,3/10 YR -
G₀₁ 6,4), schwach durchwurzelter, lockerer
schluffiger Boden mit Eisenflecken.
- 35 - 50 cm : Hellgelb bis gelbgefärbter (10 YR - 5,4/
G_{02r} 10 YR - 7,4), sehr schwach durchwurzelter
Schluff mit starken Rostflecken, CaCO₃-
haltig ab 40 cm abwärts, Grundwasserstand
bei 50 cm Tiefe schwankend.

Profil IIc, Vegetation: Wiese
Rechtswert 82225, Hochwert 82425
Datum der Profilaufnahme: 30.3.1967

Tiefe

- 0 - 25 cm : Dunkelgrauer (10 YR - 2,1/10 YR - 2,2)
A_h Humushorizont, nach unten scharf abgegrenzt.
mäßig durchwurzelter, steiniger, schluffiger,
lockerer Boden, CaCO₃-haltig.
- 25 - 50 cm : Rötlichbrauner (10 YR - 3,1/10 YR - 4,2),
G_o stark humoser schluffiger CaCO₃-haltiger
Boden, durchsetzt mit Holzkohle, aber ohne
auffallende Eisenabscheidungen; sehr locker
gelagert.
- 50 - 80 cm : Grauer (10 YR - 3,1/10 YR - 5,1) stark
G_r humoser schluffiger Boden, mit Holzkohle
durchsetzt. Wenig Steine im sehr lockeren
Gefüge, Grundwasserstand bei 80 cm Tiefe.

Grund-Schwalheim

- Lage : 127 m über NN, etwa 1 km westlich bis
südwestlich der Ansiedlung Grund-Schwalheim,
bei der Kreuzquelle.
- Klima : Jahresniederschlag 578 mm
Jahrestemperatur 9,3°C
- Relief : Ebene
- Vegetation : Glatthaferwiesen, Schilf
- Profil IIIa, Vegetation: Schilf
Rechtswert 92475, Hochwert 86875
Datum der Profilaufnahme: 10.4.1967

Tiefe

- 0 - 10 cm : Dunkelbrauner (10 YR - 2,2/10 YR - 4,3)
G_o A stark durchwurzelter und humoser lehmiger
Schluff, schwach karbonathaltig und dicht
gelagert.

- 10 - 25 cm : Gelblichbrauner (10 YR - 3,3/10 YR - 5,0)
G_{or1} toniger Schluff mit auffallenden schwarzen
Flecken besonders entlang der Wurzeln,
mäßig bis dicht gelagert und schwach durch-
wurzelt.
- 25 - 50 cm : Braune bis gelblichbraune Farbe (10 YR -
G_{or2} 3,3/10 YR - 5,3), starke Rostflecken,
humoser schluffiger Ton, locker.
- ab 50 cm : Dunkelbraune bis schwarze Farbe (10 YR -
G_{or3} 2,1/10 YR - 2,2); toniger Schluff bis
schluffiger Ton, starke organische Sub-
stanzanreicherung, sehr locker, Grundwasser-
stand bei 80 cm Tiefe.

Profil IIIb, Vegetation: Wiese

Rechtswert 92300, Hochwert 80550

Datum der Profilaufnahme: 10.4.1967

Tiefe

- 0 - 20 cm : Dunkelbraun gefärbt (10 YR - 2,2/10 YR -
A_h 4,2), relativ schwach durchwurzelt,
humoser toniger bis lehmiger Schluff,
plattiges bis bröckeliges Gefüge.
- 20 - 40 cm : Braune Farbe (10 YR - 3,3/10 YR - 5,3),
G_o schwach durchwurzelt, beginnende Rost-
fleckigkeit, besonders im unteren Teil
des Horizontes; schluffiger Ton, relativ
dicht gelagert.
- 40 - 60 cm : Rostbräunliche (10 YR - 3,4/10 YR - 6,4)
G_{or} mächtige Humusschicht mit tonigem Schluff
bis schluffigem Ton mit starken Rost- und
Bleichflecken, scharfer Übergang zu dem
darunterliegenden Horizont, lockeres
Gefüge.

ab 60 cm : Einheitliche schwarze Farbe (2.5 YR - 2,0/
T 2.5 YR - 2,0), mächtige organische Lage
mit tonigem Schluff, dunkle Ton- und
Humushäutchen, locker. Grundwasserstand
bei 80 cm Tiefe.

Profil IIIc, Vegetation: dichte Schilfbestände
Rechtswert 92575, Hochwert 86075
Datum der Profilaufnahme: 10.4.1967

Tiefe

0 - 20 cm : Dunkelbrauner bis schwarzer (10 YR - 2,1/
G_oA 10 YR - 3,2), sehr stark durchwurzelter
Horizont in ständig nassem Zustand, dicht
gelagerter toniger Schluff, scharf abge-
grenzt zum darunterliegenden Horizont.

20 - 50 cm : Dunkelbrauner (10 YR - 2,2/10 YR - 3,2)
G_{or} humoser toniger Schluff mit starken Rost-
und Bleichflecken und kantiger Struktur.
Scharfe Begrenzung nach unten, locker
gelagert.

ab 50 cm : Schwarz gefärbter (2.5 YR - 2,0/7.6 YR -
T 3,3), mächtiger, stark humoser lockerer
schluffiger Ton. Grundwasserstand bei
50 cm Tiefe.

Profil IIIId, Vegetation: Schilf
Rechtswert 92425, Hochwert 86500
Datum der Profilaufnahme: 10.4.1967

Tiefe

0 - 15 cm : Dunkelbrauner (10 YR - 2,2/10 YR - 3,3),
G_oA sehr stark durchwurzelter toniger Schluff,
CaCO₃-haltig, dicht gelagert.

15 - 35 cm : Brauner (10 YR - 3,2/10 YR - 4,2)
G_o schluffiger Ton mit blockiger Struktur
und Bildung von Ton- und Humushäutchen,
locker.

- 35 - 50 cm : Dunkelbrauner (10 YR - 3,2/10 YR - 3,3),
G_oT₁ starker humoser (Torf) schluffiger Ton
mit scharfer Grenze zu dem darunterliegen-
den Horizont; mit zunehmender Tiefe Auf-
kommen von Rostflecken, locker.
- ab 50 cm : Auffallend schwarze Farbe (5 Y - 2,1/
G_rT₂ 5 Y - 2,1), starke Anreicherung von or-
ganischem Material in schluffigem Ton,
bröckeliges Gefüge; Grundwasserstand
bei 50 cm Tiefe.

2. Kornverteilung

Der Wechsel in der Textur dieser Schwemmlandböden ist bedingt durch die unterschiedliche Sedimentation bei der Überflutung. Sowohl vertikal als auch horizontal tritt häufiger Wechsel auf. Die Böden der Untersuchungsflächen sind daher als inhomogene Profile charakterisiert.

Die Profile in Münzenberg zeigen mit Ausnahme des Profils Id eine Tonanreicherung im Unterboden. Im Profil Ia beträgt der Tongehalt im Oberboden (0 - 20 cm) 14,7 %, im Unterboden (20 - 40 cm) 24,0 %, während der Gehalt an Fein- und Grobsand im Oberboden wesentlich höher liegt als im darunterliegenden Teil (Tabelle 3). Ähnliche Merkmale zeigt das Profil Ic. Das Profil Id hat im Oberboden fast den gleichen Tonwert, so daß allgemein der Boden in Münzenberg als lehmiger Schluff bezeichnet werden kann, dessen Kornzusammensetzung durch die Überflutung der Wetter entstanden ist.

Wisselsheim weist den geringsten Tongehalt von den drei Untersuchungsflächen auf (im Durchschnitt 7,7 %). Bei Profil IIa beträgt der Tongehalt im Oberboden 10,3 % und im Unterboden 13,4 %. Interessant ist bei Profil IIb, daß der Tongehalt des Oberbodens (0 - 10 cm) von 5,7 %

auf 11,0 % ansteigt und auch höher ist als in der Schicht 35 - 50 cm (Tabelle 4). In dieser Tiefe wurde soviel Ton eingelagert, daß sich eine dichte Bodenschicht gebildet hat, die weder die Salzlösungen nach oben steigen, noch die Niederschlagswässer absinken läßt.

Einen Überblick der Kornzusammensetzung zeigt (Tabelle 4), daß das Profil IIc sich von den beiden anderen Wisselsheimer Profilen durch ausgesprochen geringen Tongehalt einerseits (Durchschnitt 3,8 %) und einen relativ hohen Fein- und Grobsandgehalt andererseits unterscheidet. Da das Profil nahe an der Wetter liegt, werden die Grobfraktionen direkt an seinem Flußbett abgesetzt, während feinkornige Fraktionen erst in weiterer Entfernung abgelagert werden. Der Gehalt an Schluff ist in allen drei Profilen in Wisselsheim recht hoch (Durchschnitt 85 %) und zeigt keine großen Unterschiede in verschiedenen Tiefen. Demnach kann man den Boden in Wisselsheim als Schluffboden bezeichnen.

Die Profile in Grund-Schwalheim zeichnen sich durch starke Tonanreicherung, besonders im Profil IIIId aus. Der Tongehalt dieses Profils beträgt im Oberboden (0 - 15 cm) 32 %, der darunter liegende Boden hat aber einen Tongehalt von 50,8 %; in tieferen Schichten wurde die gleiche Menge gemessen.

Ähnliche Tonverteilung wurde auch bei den Profilen IIIa und IIIe beobachtet, so daß die Grund-Schwalheimer Böden durch verhältnismäßig hohen Schluff- und Tonanteil gekennzeichnet sind (Tabelle 5).

Die hohen Tonmengen sind vermutlich während einer Überflutung verfrachtet worden.

Die vorwiegende Bodenart der Grund-Schwalheimer Profile ist schluffiger Ton.

Tabelle (3)

Münzenberg Korngrößengruppen in % des Feinbodens (< 2,0mm)

Profil	Tiefe in cm	Ton < 0,002 mm %	Schluff 0,002 - 0,06 mm %	Feins. 0,06 - 0,2 mm %	Grobs. 0,2 - 2,0 mm %	Bodenart
Ia	0 - 20	14,7	68,6	6,8	9,9	Lst
Ia	20 - 40	24,0	67,5	3,4	5,1	Tst
Ib	0 - 20	14,3	80,7	1,6	3,4	Tst - st
Ib	20 - 40	17,9	76,7	1,7	3,7	Tst
Ic	0 - 20	11,2	70,5	5,9	12,4	Lst
Ic	20 - 40	21,8	69,9	2,2	6,1	Tst
Id	0 - 20	24,2	65,6	4,4	5,8	Tst - Lst
Id	20 - 40	22,2	66,8	6,6	4,4	Lst - Tst

Profil	Tiefe in cm	Sättigungs- grad Fließ- grenze % H ₂ O	CO ₂ %	Org. Subst.	Bodenfarbe trocken feucht	
Ia	0 - 20	74	2,05	4,2	10YR 4,3	10RY 3,2
Ia	20 - 40	54	0,9	2,2	10YR 6,3	10YR 3,3
Ib	0 - 20	66	1,8	4,2	10YR 5,4	10YR 3,3
Ib	20 - 40	48	1,3	2,2	10YR 6,3	10YR 4,3
Ic	0 - 20	72	-	4,2	10YR 4,3	10YR 3,2
Ic	20 - 40	58	-	1,2	10YR 6,4	10YR 4,3
Id	0 - 20	72	-	4,5	10YR 5,3	10YR 3,3
Id	20 - 40	56	-	1,7	10YR 5,6	10YR 3,4

Tabelle (4)

Wisselsheim Korngrößengruppen in % des Feinbodens (<2,0mm)

Profil	Tiefe in cm	Ton <0,002 mm %	Schluff 0,002 - 0,06mm %	Feins. 0,06 - 0,2 mm %	Grobs. 0,2 - 2,0 mm %	Bodenart
IIa	0 - 20	10,3	84,9	2,5	2,3	st
IIa	20 - 40	13,4	83,0	1,6	1,9	st
IIb	0 - 10	5,7	86,0	4,8	3,5	st
IIb	10 - 35	11,0	86,5	1,6	0,9	st
IIb	35 - 50	9,0	88,8	1,3	0,8	st
IIc	0 - 25	3,7	85,0	5,8	5,4	st
IIc	25 - 50	3,9	83,9	6,4	5,8	st
IIc	50 - 80	3,8	82,7	6,9	6,6	st

Profil	Tiefe in cm	Sättigungs- grad Fließ- grenze % H ₂ O	CO ₂ %	Org. Subst. %	Bodendarbe trocken feucht	
IIa	0 - 20	77	3,5	4,5	10YR 6,3	10YR 4,3
IIa	20 - 40	65	0,9	0,9	10YR 6,4	10YR 4,4
IIb	0 - 10	79	-	4,2	10YR 4,3	10YR 2,2
IIb	10 - 35	60	0,03	1,3	10YR 6,4	10YR 4,3
IIb	35 - 50	60	1,3	0,9	10YR 7,4	10YR 5,4
IIc	0 - 25	74	13,0	4,2	10YR 2,2	10YR 2,1
IIc	25 - 50	75	16,2	4,1	10YR 4,2	10YR 3,1
IIc	50 - 80	70	21,8	4,2	10YR 4,2	10YR 3,1

Tabelle (5)

Grund-Schwalheim Korngrößen in % des Feinbodens (<2 mm)

Profil	Tiefe in cm	Ton <0,002 mm %	Schluff 0,002 - 0,06 mm %	Feins. 0,06 - 0,2 mm %	Grobs. 0,2 - 2,0 mm %	Bodenart
IIIa	0 - 10	16,1	63,7	4,8	15,4	Lst
IIIa	10 - 25	33,1	62,0	2,6	2,3	Tst
IIIa	25 - 50	48,0	41,9	5,7	4,4	stT
IIIa	ab 50	44,7	38,5	6,9	9,9	tl-st T
IIIb	0 - 20	23,2	63,0	3,8	10,0	Tst-Lst
IIIb	20 - 40	38,7	52,8	4,2	4,3	stT
IIIb	40 - 60	34,3	58,3	2,2	5,2	Tst-stT
IIIb	ab 60	30,9	60,4	3,5	5,2	Tst
IIIc	0 - 20	34,5	59,9	3,8	1,8	Tst
IIIc	20 - 50	30,8	64,9	3,3	1,0	Tst
IIIc	ab 50	42,0	55,3	1,7	1,0	stT
IIId	0 - 15	32,0	55,9	5,9	6,2	Tst
IIId	15 - 35	50,8	39,6	3,8	3,8	stT
IIId	35 - 50	51,1	42,9	4,0	2,1	stT
IIId	ab 50	51,3	32,1	6,8	9,8	stT

Profil	Tiefe in cm	Sättigungs- grad Fließ- grenze % H ₂ O	CO ₂ %	Org. Subst. %	Bodenfarbe	
					trocken	feucht
IIIa	0 - 10	88	3,5	6,1	10 YR 4,3	10 YR 2,2
IIIa	10 - 25	64	2,5	3,3	10 YR 5,6	10 YR 3,3
IIIa	25 - 50	73	2,9	4,2	10 YR 5,3	10 YR 3,3
IIIa	ab 50	102	-	18,2	10 YR 2,2	10 YR 2,1
IIIb	0 - 20	80	-	4,6	10 YR 4,2	10 YR 2,2
IIIb	20 - 40	69	-	2,2	10 YR 5,3	10 YR 3,3
IIIb	40 - 60	70	-	3,3	10 YR 6,4	10 YR 3,4
IIIb	ab 60	98	-	16,2	2.5YR 2,0	2.5YR 2,0
IIIc	0 - 20	90	0,9	4,6	10 YR 3,2	10 YR 2,1
IIIc	20 - 50	85	-	3,1	10 YR 5,4	10 YR 4,3
IIIc	ab 50	85	-	18,0	7.5YR 2,0	2.5YR 2,0
IIId	0 - 15	85	2,4	9,9	10 YR 3,3	10 YR 2,2
IIId	15 - 35	85	1,8	4,2	10 YR 4,2	10 YR 3,2
IIId	35 - 50	92	2,7	15,0	10 YR 3,3	10 YR 3,2
IIId	ab 50	88	1,1	12,4	5 Y 2,1	5 Y 2,1

3. Kapillare Aufstiegs-geschwindigkeit (nach ENSLIN)

Die Geschwindigkeit der kapillaren Wasserbewegung ist von der Wasserleitfähigkeit und Porenverteilung und damit von der Körnung abhängig (RICHARDS, L., 1954). Es besteht eine enge Beziehung zwischen kapillarem Aufstieg und Tongehalt. Bei tonreichen Böden erfolgt der Wasseraufstieg sehr langsam (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1966).

DI GLERIA (1967) vertritt die Meinung, daß man an Hand der kapillaren Wasserbewegung in einer bestimmten Zeitspanne die Bodenart bestimmen kann.

Aufgrund verschiedener Labor- und Feldversuche wurde festgestellt, daß die kapillare Wasserbewegung im Ca-Tonboden viel größer ist als in einem Tonboden, dessen Kolloide Na sorbiert haben (LOTZE, 1932). Durch Zufuhr von Na werden sowohl Steighöhe als auch Steiggeschwindigkeit gehemmt (WOLKEWITZ, 1964).

Wie bereits erwähnt, hat sich die Annahme eines jahreszeitlich bedingten Salzkreislaufes in den Münzenberger Böden nur teilweise bestätigt. - Der mengenmäßig geringe, aber schnelle Wassernachschub in den Profilen Ia und Id im Vergleich zu Ib bestätigt den Hinweis, daß nicht nur die Körnung, sondern auch die sorbierten Kationen den Wassernachschub beeinträchtigen. Große jahreszeitliche Wasserschwankungen sind sicher zu verzeichnen, da aber der Salzgehalt des Grundwassers gering ist, ist in den im Frühjahr 1967 fast salzfreien Profilen im September nur eine leichte Zunahme löslicher Salze festzustellen. Die relativ hohe Na-Anlagerung am Ton in Profil Ib macht sich in einer verlangsamten kapillaren Aufstiegs-geschwindigkeit bemerkbar (Abb. 5).

Das Profil Ic nimmt eine gewisse Mittelstellung ein, und obwohl es ebenfalls wie Profil Ib eine starke Grundwasser-

mineralisierung entwickelt, zeigt der Salzgehalt des Bodens in den verschiedenen Jahreszeiten keine so großen Differenzen wie Ib. Die langsame kapillare Aufstiegs- geschwindigkeit im Unterboden (20 - 40 cm) erklärt sich durch den fast doppelt so hohen Tongehalt im Vergleich zum Oberboden, in welchem ein rascher kapillarer Aufstieg erfolgte. Die Methode ENSLIN sagt in diesem speziellen Fall nur etwas über die Wasserbewegung auf Grund der Kornzusammensetzung aus. Ein Rückschluß auf die Bewegung der Salze, die in Ober- und Unterboden im Frühjahr eine fast gleiche Höhe zeigen und im Spätsommer im Oberboden minimal erhöht sind, ist schwer möglich.

In Wisselsheim ist die kapillare Aufstiegs- geschwindigkeit bei den Profilen IIa und IIb relativ langsam, jedoch erfolgt sie bei Profil IIc schnell (Abb. 6), da in diesem Profil die Sandfraktion vorherrscht (12,1 %) und nur ein Tongehalt von 3,8 % vorhanden ist. Die Salze des Grundwassers wirken sich trotz einer höheren Konzentration als in den Profilen IIa und IIb nicht auf den Oberboden aus, da der kapillare Aufstieg wohl sehr schnell erfolgt, aber bei weitem nicht die Höhe der anderen Profile IIa und IIb erreicht.

Dagegen ist im Boden von Grund-Schwalheim trotz des hohen Tongehaltes die Aufstiegs- geschwindigkeit relativ gut, weil die Kolloide dieses Bodens mit Ca gesättigt sind.

Das Profil IIIa zeigt im Oberboden (0 - 10 cm Tiefe) einen Tongehalt von 16,1 %, mit zunehmender Tiefe steigt er bis auf 48,0 % (Tab. 5). Dementsprechend beträgt die Wasser- aufstiegsdauer 100 Min. bis 12 Std. und 22 Min.

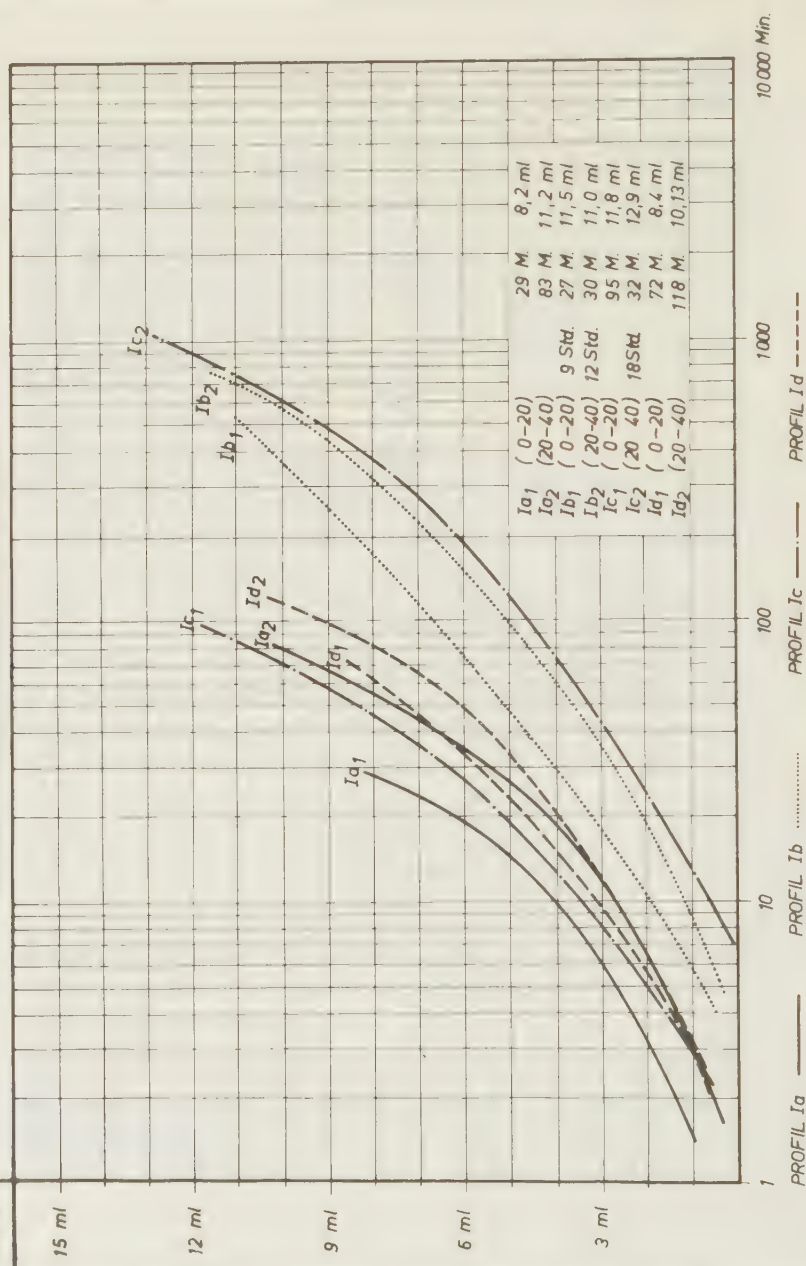
Ähnliche Erscheinungen sind bei den Profilen IIIb und IIIc zu beobachten (Abb. 7 und 8). Das Profil IIId zeigt im Unterboden (ab 50 cm Tiefe) eine rasche Aufstiegs- geschwindigkeit. Die Ursache hierfür ist wiederum ein relativ

hoher Sandgehalt und die Ca- und Mg-Anlagerung an den Tonkolloiden.

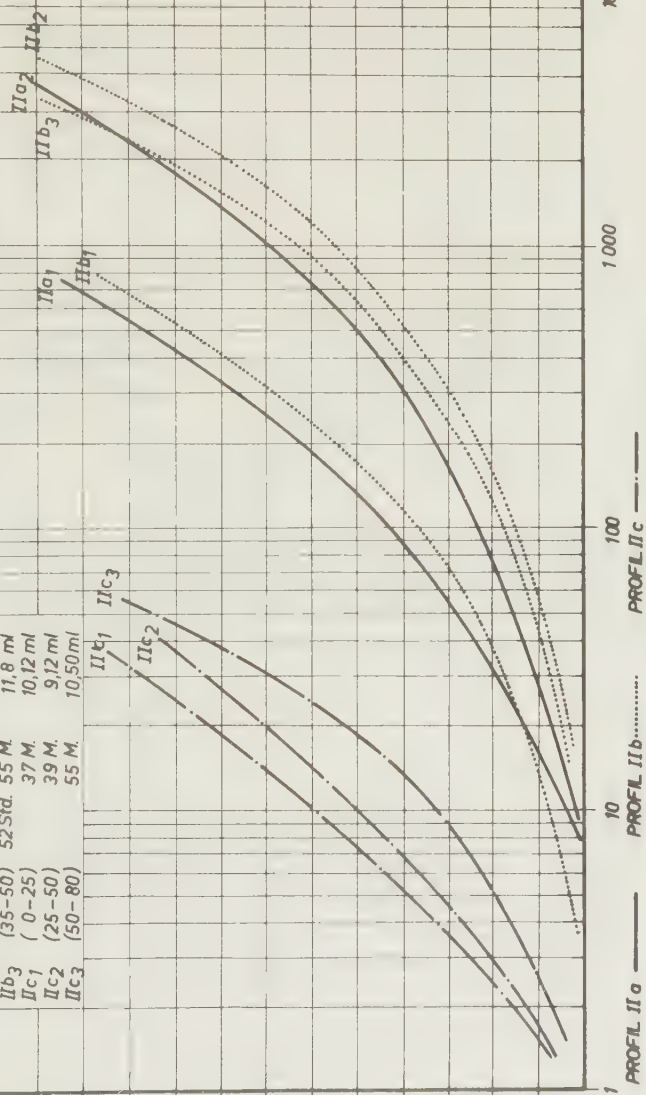
Die Salzgehalte in den Horizonten sind niedrig und recht einheitlich. Trotz allgemein optimaler Wasserführung kann aber eine Korrelation mit der Salzbewegung im auf- und absteigenden Kapillarwasser nicht beobachtet werden, da die im Grundwasser vorhandenen Salze zu gering sind, um in ihrer Beweglichkeit einen Vergleich mit der Wasserbewegung zu ermöglichen.

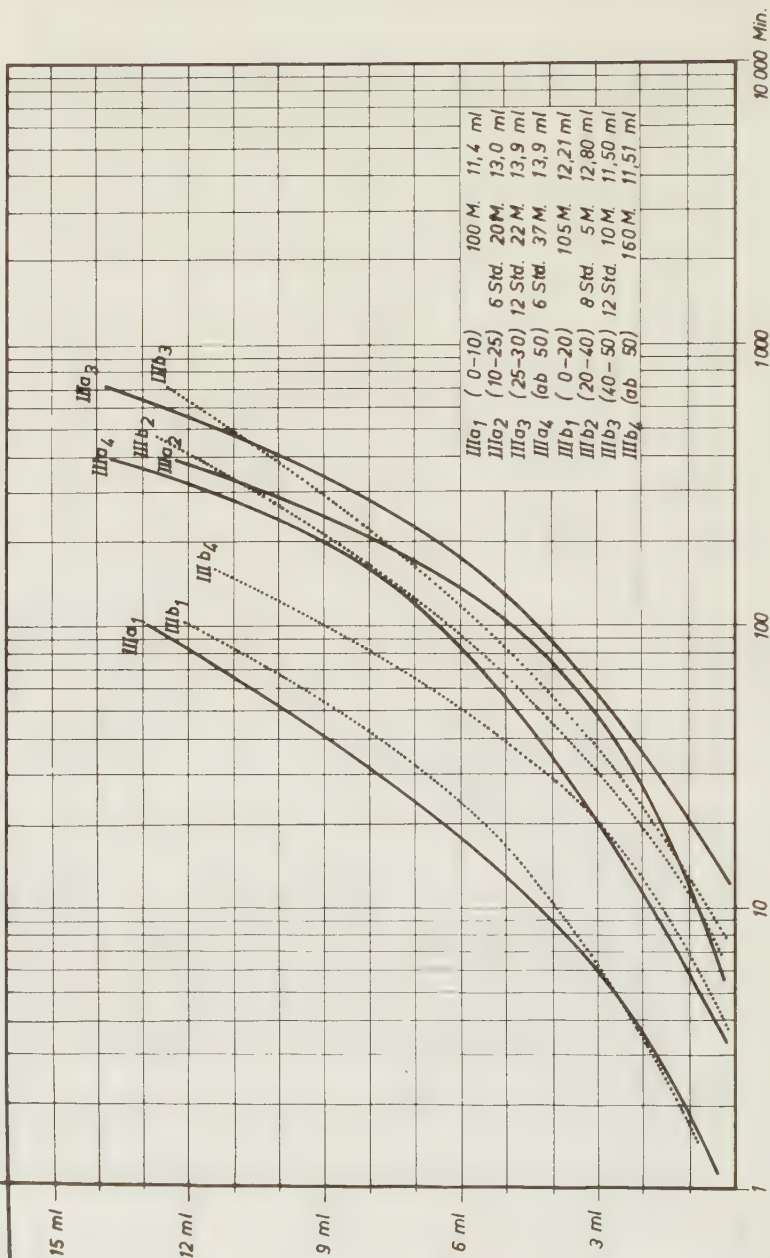
KAPILLARE WASSERAUFSTIEGSGESCHWINDIGKEIT

Abb 5



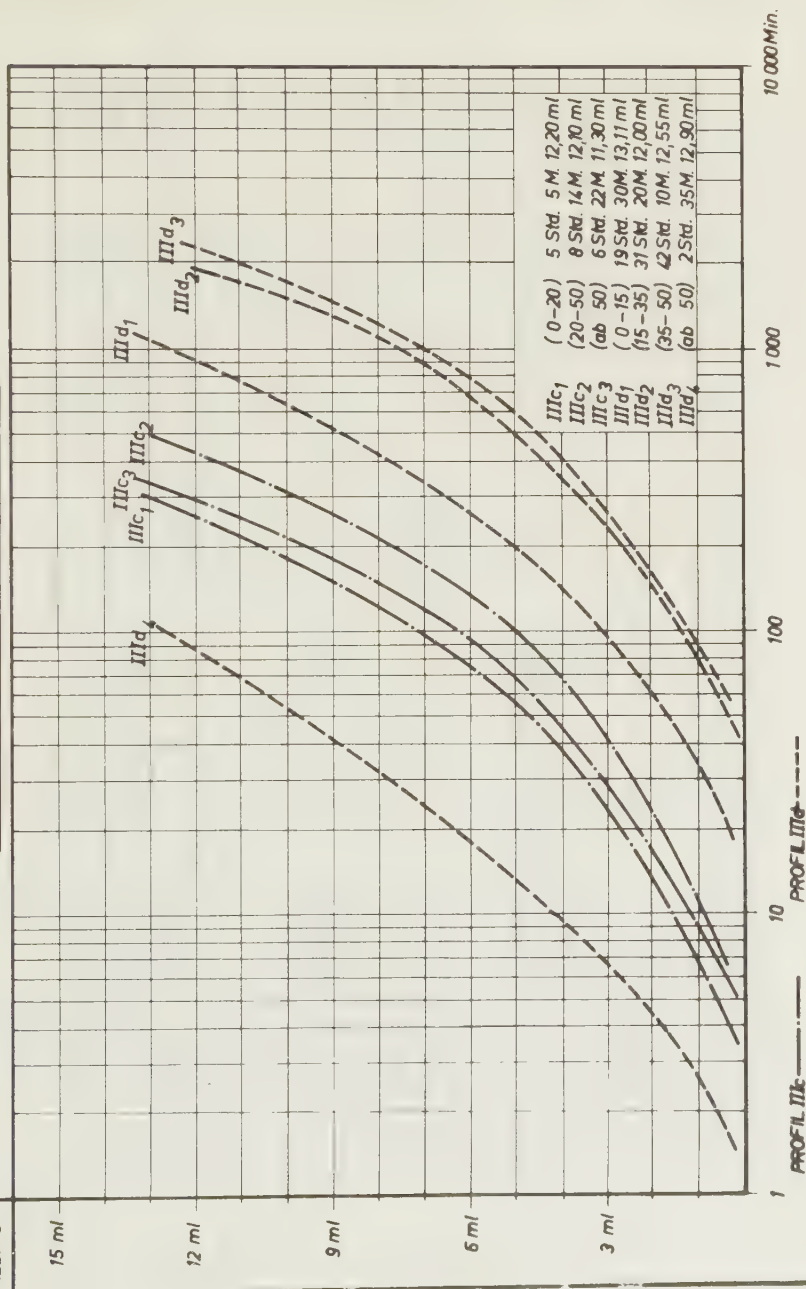
IIa ₁	(0-20)	12 Std.	20 M.	11,4 ml
IIa ₂	(20-40)	62 Std.	10 M.	12,4 ml
IIb ₁	(0-10)	13 Std.	5 M.	10,8 ml
IIb ₂	(10-35)	72 Std.	14 M.	11,9 ml
IIb ₃	(35-50)	52 Std.	55 M.	11,8 ml
IIc ₁	(0-25)	37 M.		10,12 ml
IIc ₂	(25-50)	39 M.		9,12 ml
IIc ₃	(50-80)	55 M.		10,50 ml





KAPILLARE WASSERAUFSTIEGSGESCHWINDIGKEIT

Abb. 8



V. DIE SALZHALTIGEN BÖDEN BEI MÜNZENBERG

1. Das Grundwasser im Boden

Die im Grundwasser anzutreffende Salzzusammensetzung und Konzentration ist das Resultat vielfältiger Einflüsse. Die anfänglich im Grundwasser vorhandenen Salze stehen in ständigem Austausch mit den Mineralien der Gesteine. Die Löslichkeit eines Salzes ist richtungsweisend für die Länge des Transports bis zu der Stelle, wo es sich nach Erreichen der Sättigungskonzentration im Boden ablagert.

Im Hinblick auf die Salzanhäufung im Boden kommt dem Grundwasser eine ausschlaggebende Rolle zu. Aus dem Zusammenspiel von Verdunstung bzw. Transpiration, Grundwassertiefe und Abfluß ergibt sich die Salzkonzentration des Grundwassers. Die Hypothese einer an die Jahreszeit gebundenen Salzzirkulation hat sich für das Gebiet Münzenberg nur teilweise bestätigt. Wie die Werte für die elektrische Leitfähigkeit in den verschiedenen Monaten ergaben, ist offensichtlich, daß ein durch die Winterniederschläge erwartetes Zurückgehen der Salzkonzentration nach der Grundwassersenkung im Sommer im einzelnen nicht eingetreten ist. Das Profil Ia erwies sich als fast salzfrei. Einer leichten Zunahme der löslichen Salze im Herbst folgte im Februar des darauffolgenden Jahres kein nennenswerter Rückgang auf den Ausgangsgehalt. In erheblich stärkerem Maße tritt diese Tendenz jedoch im Profil Ib auf. Nach einem sprunghaften Anstieg der Salzkonzentration im Grundwasser von 6,0 mmhos/cm im März 1967 auf 23,9 mmhos/cm im September ist die Salzkonzentration im Februar des nächsten Jahres nur um einen Bruchteil abgesunken (Tab. 6).

Tabelle (6)

Münzenberg

Salzgehalt des Grundwassers

Zeit der Probe- entnahme	Leitfkt. mmhos/cm bei 25°C	pH in H ₂ O	Kat. mval/l				Anionen mval/l			
			Ca	Mg	Na	Na: Ca+Mg	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl
Profil Ia										
III. 67	1,3	6,8	9	4	-	-	-	6	3	1
IX. 67	1,4	7,5	10	3	1	-	-	7	2	4
II. 68	1,3	7,7	11	2	-	-	-	7	3	5
Profil Ib										
III. 67	6,0	6,8	9	6	33	2,2	-	14	2	19
IX. 67	23,9	6,9	31	14	182	4,0	-	12	2	216
II. 68	23,5	7,6	32	11	155	3,6	-	15	1	203
Profil Ic										
III. 67	6,3	6,7	10	4	37	2,6	-	10	-	31
IX. 67	7,7	7,4	10	6	52	3,2	-	9	-	62
II. 68	8,2	7,5	14	6	50	2,5	-	11	Sp.	65
Profil Id										
III. 67	5,1	6,8	8	4	31	2,6	-	8	-	28
IX. 67	8,7	7,4	15	7	52	2,4	-	11	-	75
II. 68	6,0	7,8	10	6	34	2,1	-	9	-	48

Der Salzhaushalt in den zwei Profilen auf der östlichen Seite der Wetter scheint ausgeglichen zu sein. Die Werte für die Grundwassermineralisierung dieser zwei Profile liegen um ein wesentliches unter denen des Profils Ib, was auf den Einfluß der Winterniederschläge schließen läßt. Einem merklichen Anstieg des Salzgehaltes im Grundwasser des Profils Id von 5,1 mmhos/cm auf 8,7 mmhos/cm im Sommer steht ein Rückgang auf 6,0 mmhos/cm im folgenden Jahre gegenüber. Im März 1967 hatte der Grundwasser-

spiegel in Münzenberg einen verhältnismäßig hohen Stand, sank aber im September desselben Jahres bei einigen Profilen bis auf 100 cm ab und stieg im Frühjahr wieder bis auf ca. 40 cm an.

Von den einzelnen Kationen im Grundwasser ist das Na als NaCl vorherrschend. Das Calcium steht in dieser Reihenfolge an zweiter Stelle gefolgt von Magnesium und Kalium. Die Cl- und HCO_3 -Anionen sind in nahezu gleicher Intensität vorhanden, während die SO_4 -Ionen praktisch vernachlässigt werden können. Die pH-Werte schwanken zwischen dem neutralen und schwach alkalischen Bereich.

Der Salzgehalt der Wetter ist bei Münzenberg sehr gering (0,40 mmhos/cm), so daß man mit Sicherheit sagen kann, daß die Salzanhäufung in den Böden dieses Gebietes im wesentlichen durch die Mineralquellen verursacht wurde.

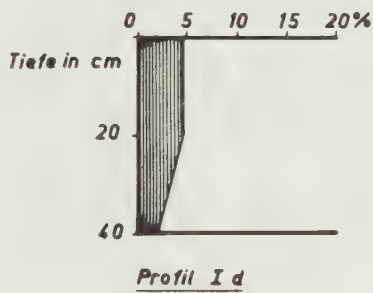
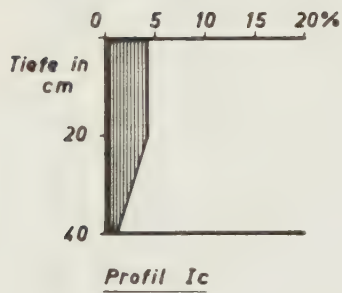
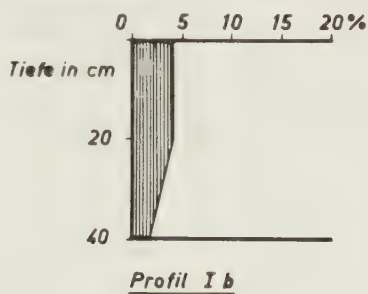
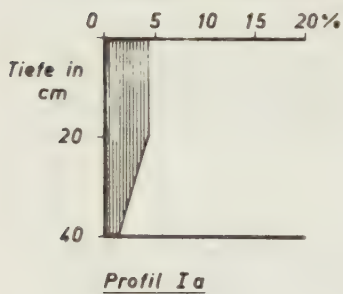
2. Chemische Eigenschaften des Bodens

a. Organische Substanz

Die normalen Salzböden des ariden Klimabereichs zeigen im allgemeinen nur einen geringen Humusgehalt, da die hohen Temperaturen und geringen Niederschläge einerseits und die ungünstige Bodenstruktur andererseits das Wachstum der Pflanzen hemmen (JANITZKY, P., 1957). Dagegen weisen die Böden des Untersuchungsgebietes große Mengen an organischer Substanz auf, die auf günstige klimatische Bedingungen und zeitweilige Auswaschung der vorhandenen Salze im Boden zurückzuführen sind.

Die vier Profile in Münzenberg haben im Oberboden ziemlich gleiche Humusgehalte (4,1 % - 4,5 %) (Abb. 9). Bei Ia und Ib in Münzenberg sinkt der Humusgehalt mit zunehmender Tiefe von 4,2 % auf 2,2 %. Ic und Id sind durch niedrigen

ORGANISCHE SUBSTANZ - Münzenberg



Humusgehalt im Unterboden gekennzeichnet (1,2 ‰ - 1,7 ‰).

Es ist bekannt, daß die Austauschereine Selektivität für Ca - und Mg -Ionen gegenüber Na -Ionen zeigen. Besonders die organische Substanz des Bodens besitzt eine hohe Selektivität für zweiwertige gegenüber einwertigen Kationen (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1966). In Grund-Schwalheim und Wisselsheim wurde daher wegen des hohen Humusgehaltes kein starker Natriumeintausch festgestellt.

b. Leichtlösliche Salze

Die Menge der leichtlöslichen Salze im Boden ist nicht konstant. Sie ist andauernden Schwankungen unterworfen (SIGMOND, A.A.J., 1930, JANITZKY, P., 1957).

Die Untersuchungsfläche bei Münzenberg steht unter dem Einfluß salzhaltigen Grundwassers. Einige Profile weisen eine Salzzunahme auf. Das Profil Ia zeigte im März 1967 keine nennenswerte Salzkonzentration (0,8 mmhos/cm). Eine geringe Zunahme an leichtlöslichen Salzen erfolgte jedoch im September 1967 und Frühjahr 1968 (1,3 mmhos/cm). Das Profil Ib, welches sich in der Nachbarschaft einer Quelle befindet, weist den stärksten Salzgehalt aller Profile in Münzenberg auf (Tab. 7). Die Werte der Leitfähigkeit im Bodenextrakt steigen von 4,5 und 4,8 im März 1967 auf 18,0 und 14,0 mmhos/cm im September 1967. Im Februar 1968 liegt die Leitfähigkeit bei 27 mmhos/cm und steigt im Juli weiter bis auf 29,2 mmhos/cm. Von den löslichen Bestandteilen stehen die Na - und Cl -Ionen an erster Stelle. Ca , Mg , HCO_3 und SO_4 sind in etwa gleicher Höhe vorhanden. Das Profil Ic nimmt hinsichtlich seines Salzgehaltes eine Mittelstellung zwischen dem stark versalzten Profil Ib und dem Profil Id ein. Es findet hier auch im Frühjahr bis zum Herbst eine merkliche Salzzunahme sowohl im Ober- als auch im Unterboden statt, jedoch im Februar

Tabelle (7)

Münzenberg Leichtlösliche Salze im Sättigungsextrakt

der Böden

Zeit der Probe- entnahme	Tiefe in cm	pH in H ₂ O	Leitfkt. in mmhs/cm bei 25°C	Kat.- und Anionen mval/1 100g Boden						
				Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl
Profil Ia										
III. 67	0-20	7,7	0,8	0,4	0,2	-	-	0,3	0,5	Sp.
	20-40	7,7	1,8	0,4	0,2	-	-	0,2	0,3	Sp.
IX. 67	0-20	7,7	1,3	0,8	0,3	0,1	-	0,7	0,8	0,2
	20-40	7,4	1,0	0,4	0,2	0,1	-	0,3	0,6	0,2
II. 68	0-20	7,7	1,6	1,1	0,2	0,1	-	0,9	0,6	0,3
Profil Ib										
III. 67	0-20	8,0	4,5	0,4	0,2	1,1	-	0,4	0,5	0,5
	20-40	7,9	4,8	0,4	0,2	1,2	-	0,4	0,5	0,5
IX. 67	0-20	7,3	18,0	2,7	0,8	7,3	-	0,8	-	10,9
	20-40	7,6	14,0	1,1	0,2	3,6	-	0,2	0,4	5,5
II. 68	0-20	7,8	27,0	5,7	1,6	13,6	-	1,5	0,6	23,4
VII. 68	0-20	8,0	29,2	4,2	2,4	25,0	-	1,2	2,1	29,0
	20-40	7,7	17,2	1,3	1,0	13,0	-	0,3	1,7	13,8
Profil Ic										
III. 67	0-20	7,1	3,8	0,4	0,3	1,2	-	0,5	0,3	0,4
	20-40	7,7	3,6	0,2	Sp.	0,8	-	0,2	0,1	0,4
IX. 67	0-20	6,4	8,0	1,0	0,6	3,5	-	0,6	-	4,7
	20-40	7,6	4,5	0,2	0,2	1,5	-	0,2	-	1,8
II. 68	0-20	7,0	5,1	0,8	0,4	2,7	-	1,0	-	2,9
Profil Id										
III. 67	0-20	7,2	4,2	0,5	0,3	1,1	-	0,3	0,1	0,5
	20-40	7,0	5,0	0,4	0,1	1,2	-	0,1	0,1	0,6
IX. 67	0-20	7,2	9,5	1,7	0,9	3,7	-	0,9	-	5,3
	20-40	7,3	6,8	0,6	0,2	2,3	-	0,2	0,5	3,3
II. 68	0-20	7,3	4,5	0,4	0,2	1,5	-	0,4	-	2,0

1968 sinkt die Salzkonzentration wieder um 40 % ab. Na- und Cl-Ionen herrschen vor, SO_4 -Ionen fehlen zuweilen ganz. Das Profil Id hat ungefähr die gleichen Daten wie Profil Ic. Die löslichen Salze steigen von 4,2 und 5,0 mmhos/cm im Frühjahr 1967 auf 9,5 und 6,8 mmhos/cm im September 1967, um im Februar 1968 wieder bis auf 4,5 mmhos/cm abzusinken. Die gesamte Salzkonzentration liegt bei den Profilen Ic und Id wesentlich unter der des Profils Ib.

c. Austauschkapazität und austauschbare Kationen

Im Vergleich zu den Flächen bei Wisselsheim und Grund-Schwalheim liegt die Austauschkapazität im Münzenberger Raum relativ niedrig.

Alle vier Profile zeigen im Oberboden (0 - 20 cm) infolge hoher Ton- und Humusanteile relativ hohe AK-Werte (Tabelle 8).

Von den Austauschkationen überwiegt Ca am Sorptionskomplex. An zweiter Stelle stehen Mg, Na und K; letzteres ist im allgemeinen nur in geringer Konzentration vorhanden. Eine echte Alkalisierung wurde nur im Profil Ib beobachtet. Der Anteil des Austauschnatriums nimmt hier von 16 % im März 1967 auf 28 % im Juli 1968 zu. Im Profil Ia erfolgt kein Natriumeintausch, Ic und Id zeigen eine stetige Abnahme des Austauschnatriums. Wegen des engen (Ca + Mg) : Na-Verhältnisses kann Na nicht ungehindert eingetauscht werden. Nach Janitzky, P., (1957) ist es eine bekannte Tatsache, daß das Na in Gemeinschaft mit zweiwertigen Ca- und Mg-Ionen erst dann eintauschen kann, wenn es den Gehalt an Ca- und Mg-Ionen in der Bodenlösung um das Vierfache übersteigt. Das Verhältnis (Ca + Mg) : Na bei den Profilen Ia, Ic und Id schwankt um 1 : 1 bis 1 : 3 und liegt damit unter dem Wert 1 : 4. Nur im Grundwasser des Profils Ib wird dieses Verhältnis von etwa 1 : 4 erreicht; in diesem Profil wird Na auf Kosten des Calciums eingetauscht (Tab. 8).

Tabelle (8)

Münzenberg

Austauschionen

Zeit der Probe- entnahme	Tiefe in cm	AK-Wert in mval/ 100g B.	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na
			mval/100g Boden			%		
Profil Ia								
III. 67	0-20	27,2	17,2	8,2	-	63	30	-
	20-40	26,0	17,2	5,4	-	66	21	-
IX. 67	0-20	29,0	22,4	2,6	-	77	9	-
	20-40	27,0	24,6	4,8	-	91	18	-
II. 68	0-20	27,3	21,0	8,5	-	77	31	-
Profil Ib								
III. 67	0-20	23,5	15,0	2,0	3,7	64	9	16
	20-40	20,8	13,0	3,6	3,0	62	17	14
IX. 67	0-20	25,0	16,0	4,3	2,2	64	17	9
	20-40	19,2	16,4	4,3	2,9	85	22	15
II. 68	0-20	22,7	16,3	3,4	4,2	72	15	19
VII. 68	0-20	26,0	12,3	6,8	7,3	47	26	28
	20-40	18,6	8,6	4,0	4,2	46	21	23
Profil Ic								
III. 67	0-20	29,6	17,6	3,3	4,0	59	11	13
	20-40	21,2	12,2	5,2	3,4	58	25	16
IX. 67	0-20	32,0	22,8	6,9	3,0	71	30	9
	20-40	25,1	14,8	7,3	-	59	29	-
II. 68	0-20	26,8	16,5	7,2	1,3	61	27	5
Profil Id								
III. 67	0-20	29,2	17,9	5,7	3,5	61	20	12
	20-40	21,2	13,0	4,5	3,2	61	21	15
IX. 67	0-20	28,2	18,5	3,0	2,8	65	11	10
	20-40	24,2	14,9	2,3	2,3	61	10	10
II. 68	0-20	25,9	15,8	7,2	1,4	61	28	5

VI. DIE SALZHALTIGEN BÖDEN BEI WISSELSHEIM

1. Das Grundwasser im Boden

Im Vergleich zu Münzenberg liegt der Grundwasserspiegel in Wisselsheim tiefer, nämlich bis 80 cm.

In den drei Profilen der Fläche macht sich der Einfluß eines ziemlich salzfreien Grundwassers bemerkbar. Auffallend ist, daß dieses Wasser im Hinblick auf den Mineralisierungsgrad und der Salzzusammensetzung scheinbar über größere Distanzen eine relative Einheit in seiner Beschaffenheit darstellt und sowohl den Quellen in Wisselsheim als auch den Münzenberger Quell- und Grundwassern ähnelt. Diese relativ einheitliche chemische Zusammensetzung scheint die gemeinsame Herkunft der längs der tektonischen Verwerfungslinien aufsteigenden Salzlösungen zu bestätigen. Im Boden IIa konnten wegen des hoch anstehenden Grundwassers nur zwei Horizonte erfaßt werden. Obwohl hier der Mineralisierungsgrad des Grundwassers im allgemeinen am geringsten ist (Tabelle 9), ist das Salz bis in die Nähe der Oberfläche gedrückt und hat gegenüber den zwei anderen Profilen die höchste Konzentration. Als Folge des relativ hohen Tongehaltes bei Profil IIa und IIb erreicht das Grundwasser eine erhebliche kapillare Steighöhe und transportiert während der warmen Jahreszeit die in ihm gelösten Bestandteile zur Oberfläche. Mit Beginn der Wintermonate und der stärkeren Regenfälle beginnt mit der Zunahme der Durchfeuchtung die Verlagerung der leichtlöslichen Salze zurück ins Grundwasser.

Im Profil IIb (in 25 cm Tiefe) wurde eine Bodenverdichtung festgestellt, die die Einwirkung des Niederschlagswassers behindert.

Das Profil IIc weist in den verschiedenen Jahreszeiten eine ziemlich konstante Grundwassertiefe mit einer einheitlichen Salzzusammensetzung auf.

Tabelle (9)

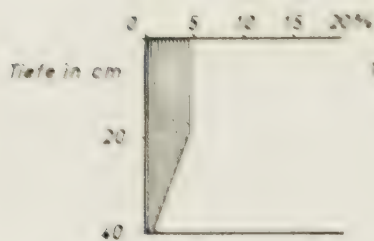
Wasserprobe		Salzgehalt des Grundwassers												
Zeit der Leitfkt. Profil- entnahme bei 25°C	mhos/cm	pH in H ₂ O	Kat. mval/l					Anionen mval/l						
			Ca	Mg	Na	Na: Ca+Mg	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄				
Profil IIa														
III. 67	19,5	6,6	20	12	145	4,5	-	16	150	5				
IX. 67	15,0	7,1	13	7	113	5,6	-	12	127	2				
II. 68	12,8	7,4	16	5	90	4,3	-	11	115	3				
Profil IIb														
III. 67	20,0	6,3	25	15	157	3,9	-	15	158	2				
IX. 67	19,2	6,7	20	7	165	6,1	-	31	162	Sp.				
II. 68	12,8	7,9	16	4	90	4,5	-	13	115	Sp.				
Profil IIc														
III. 67	21,2	6,9	32	8	151	3,8	-	22	172	3				
IX. 67	22,7	7,1	36	9	182	4,0	-	25	213	Sp.				
II. 68	18,1	7,4	30	6	132	3,7	-	25	158	Sp.				

2. Chemische Eigenschaften des Bodens

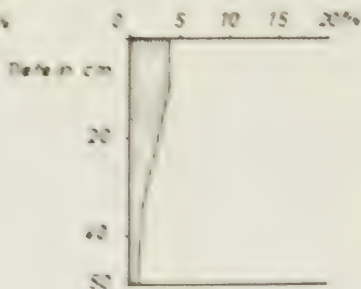
a. Organische Substanz

Der Humusgehalt bei Profil IIa beträgt im Oberboden (0 - 20 cm) 4,5 % und im Unterboden (20 - 40 cm) 0,9 %. Auch mit zunehmender Tiefe sinkt der Humusgehalt bei Profil IIb von 4,2 % auf 1,3 % und 0,9 %. Hingegen zeigt das Profil IIc keine wesentlichen Schwankungen in der Menge der

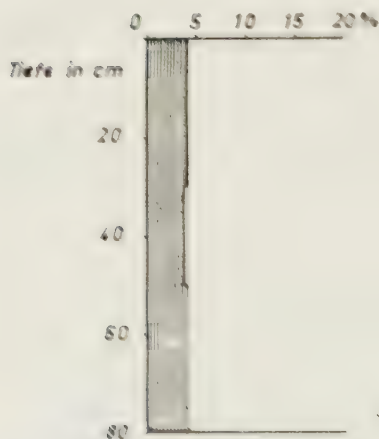
ORGANISCHE SUBSTANZ - Wisselsheim



Prof. II a



Prof. II b



Prof. II c

organischen Substanz in den verschiedenen Horizonten (Abb. 10). Da dieses Profil sehr nahe an der Wetter liegt, besteht die Vermutung, daß die organischen Reste zu einem großen Teil von der Wetter und in verschiedenen Tiefen abgelagert worden sind.

b. Leichtlösliche Salze

Die drei ausgewählten Profile in Wisselsheim werden von sehr salzreichem Grundwasser beeinflusst. Das Profil IIa, welches im östlichen Teil des Naturschutzgebietes liegt, hat von diesen drei Böden den höchsten Salzgehalt (Tabelle 10). Die Salzhorizonte liegen hier sehr dicht unter der Oberfläche. Die Leitfähigkeit im Bodenauszug steigt im Oberboden (0-20 cm) vom Frühjahr zum Herbst von 16,0 auf nur 17,8 mmhos/cm und sinkt aber bis zum nächsten Frühjahr sehr stark ab. Die gleiche Erscheinung weist auch das Profil IIb auf. Die Leitfähigkeitswerte zeigen keinen nennenswerten Anstieg von März bis September 1967, gehen aber ebenfalls im Winter sehr beträchtlich zurück.

Im Sommer 1968 steigt die Salzkonzentration von 4,0 auf 8,3 mmhos/cm und entspricht mehr der Annahme des jahreszeitlichen Einflusses. Während die Salzbewegung in den oberen Bodenschichten hauptsächlich auf die Bewegung des Bodenwassers unter dem Einfluß der Niederschläge und Temperatur erfolgt, ist sie in den tieferen Regionen durch salzführendes Wasser bedingt (KELLEY, K., 1951). Da in Wisselsheim der Grundwasserspiegel auf höchstens 80 cm Tiefe absinkt, ist der Salzgehalt im Mittelteil der Profile nur geringen Schwankungen unterworfen.

Im Profil IIb wird der obere Teil des Profils nicht mehr vom Grundwasser beeinflusst. Es hat sich eine dichte Schicht gebildet, die sowohl den kapillaren Aufstieg als auch das Versickern des Niederschlagswassers stark hemmt.

Das Profil IIc dagegen zeichnet sich durch den niedrigen Tongehalt (durchschnittlich 3,8 %) bis zu einer Tiefe von 80 cm aus und hat infolgedessen eine relativ geringe kapillare Wasserbewegung. Infolgedessen können sich die Salze des Grundwassers auf die oberen Horizonte kaum auswirken. Mit zunehmender Tiefe steigt die Salzkonzentration des Bodens und erreicht den höchsten Gehalt in einer Tiefe von 80 cm.

Während der warmen Jahreszeit macht sich ein leichter Anstieg der Salze bemerkbar. Jedoch verursachen die Niederschläge des darauffolgenden Winters eine Abwanderung der im Sommer angesammelten Salze in die tieferen Horizonte. Damit geht der Salzgehalt der oberen Horizonte auf den Stand des vergangenen Frühjahrs zurück.

Tabelle (10)

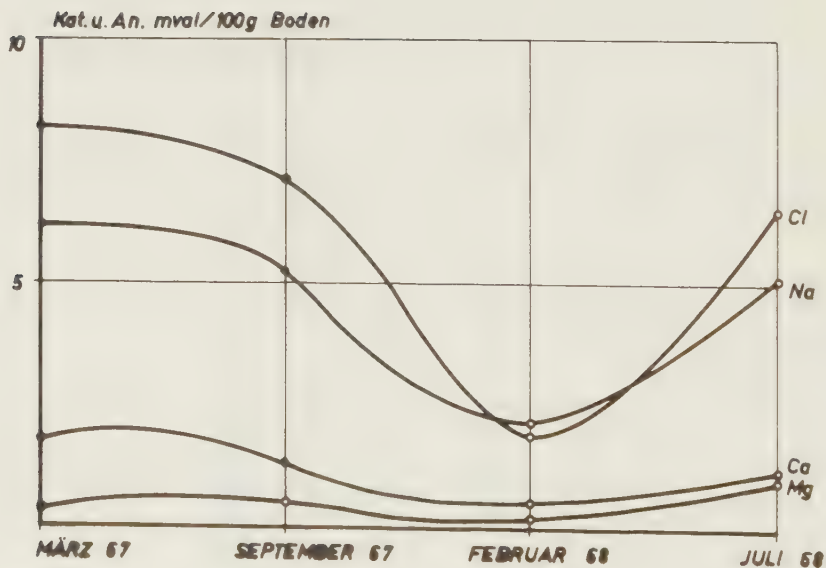
Wisselsheim Leichtlösliche Salze im Sättigungsextrakt
der Böden

Zeit der Probe- entnahme	Tiefe in cm	pH in H ₂ O	Leitfkt. in mmhos/cm bei 25°C	Ca	Mg	Na	$\frac{Na}{Ca+Mg}$	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl
Profil IIa											
III. 67	0-20	7,7	16,0	1,8	0,8	9,4	3,6	-	1,1	0,7	9,2
	20-40	7,7	14,0	0,7	0,5	6,8	5,7	-	0,4	0,2	7,7
IX. 67	0-20	7,3	17,8	1,6	0,8	10,1	4,2	-	0,7	0,7	12,5
	20-40	7,4	10,0	0,5	0,2	5,0	7,1	-	0,1	0,2	6,2
II. 68	0-20	7,3	6,5	1,1	0,3	3,9	2,8	-	1,2	0,3	4,5
Profil IIb											
III. 67	0-20	7,1	11,0	1,8	0,8	6,2	2,4	-	0,9	0,9	8,2
	10-35	7,8	8,2	0,4	0,2	3,6	6,0	-	0,1	0,1	4,0
	35-50	7,9	10,2	0,5	0,1	4,6	7,6	-	0,1	0,1	5,2
IX. 67	0-10	7,8	12,5	1,3	0,5	5,3	2,9	-	0,5	0,5	7,1
	10-35	8,1	8,5	0,3	0,2	3,8	7,6	-	0,2	0,1	4,2
	35-50	8,1	9,7	0,3	0,1	4,7	11,8	-	0,1	-	5,1
II. 68	0-10	7,7	4,0	0,5	0,2	2,1	3,0	-	1,0	0,1	1,9
VII. 68	0-10	7,8	8,3	1,2	1,0	5,1	2,4	-	0,3	Sp.	6,5
	10-35	7,7	7,8	0,4	0,7	5,0	4,5	-	0,9	Sp.	4,5
	35-50	7,9	7,2	0,4	0,5	4,8	5,3	-	0,7	Sp.	0,4
Profil IIc											
III. 67	0-25	8,0	2,2	0,3	0,1	0,8	2,0	-	-	-	1,0
	25-50	8,2	5,2	0,3	0,1	2,7	6,7	-	0,2	0,2	3,0
	50-80	7,9	12,4	0,2	0,2	6,3	15,7	-	0,7	0,7	8,0
IX. 67	0-25	7,6	7,7	1,8	0,4	1,8	0,8	-	0,3	-	3,8
	25-50	7,8	12,9	0,7	0,2	5,9	6,5	-	0,1	-	6,8
	50-80	7,8	19,2	1,4	0,4	11,9	6,6	-	0,1	Sp.	14,2
II. 68	0-25	7,8	2,1	0,6	0,1	0,5	0,7	-	0,6	-	0,9

Abb. 11

Leichtlösliche Salze im Bodenextrakt

Profil II b Wisselsheim



c. Austauschkapazität und austauschbare Kationen

Die Anteile der austauschbaren Kationen im Profil IIa verzeichnen vom März bis September 1967 eine Zunahme an Austausch-Natrium und -Magnesium. Im Profil IIb erfolgt dagegen vom Frühjahr bis zum Herbst eine leichte Abnahme der beiden genannten Kationen (Abb. 12). Während die Konzentration der leichtlöslichen Salze in beiden Böden im Jahr 1968 stark absinkt, bleibt der Anteil und die Verteilung der Austauschionen in den verschiedenen Jahreszeiten nahezu unverändert bestehen (Tabelle 11). Das Profil IIc zeigt nur einen geringen Na - und Mg -Austausch. Im Oberboden dieses Profils wurde im Frühjahr 1967 und 68 kein sorbiertes Na festgestellt, während die tieferen Horizonte eine höhere Na-Sorption aufweisen. Magnesium hat sich hauptsächlich in den mittleren Horizonten (25 - 50 cm) angelagert. In allen drei Profilen von Wisselsheim überwiegt das Ca an den Austauschkörpern und erreicht den höchsten Anteil bei Profil IIc im Juli 1968. Die AK-Werte liegen etwas höher als in Münzenberg. Die verhältnismäßig hohe Austauschkapazität im Profil IIc ist auf das Vorhandensein von hohen Humusanteilen im ganzen Profil zurückzuführen.

Austauschionen in % bei Profil IIb Wisselsheim

Abb. 12

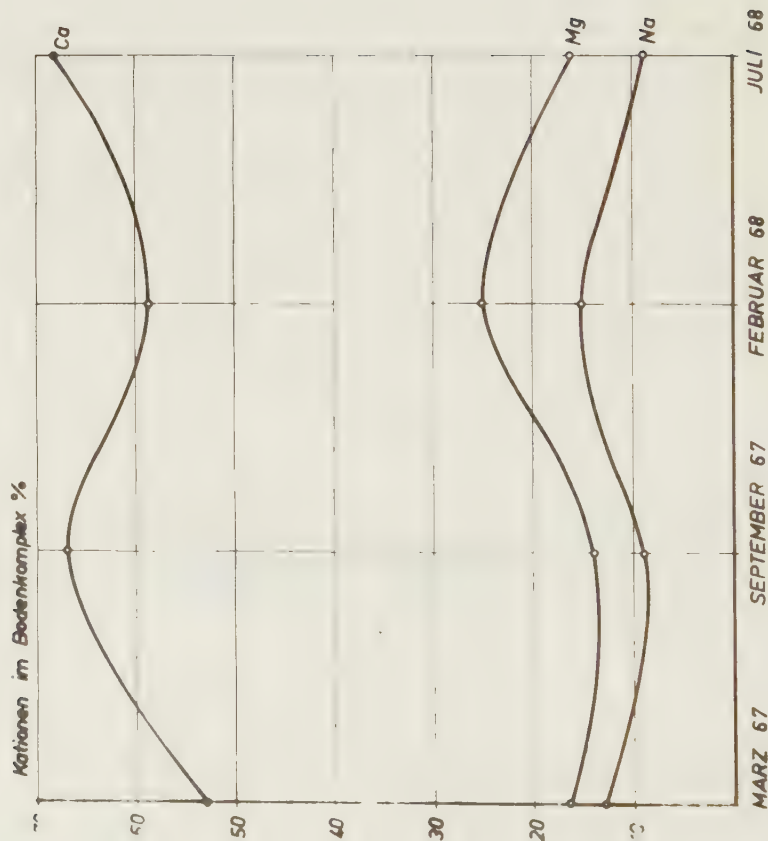


Tabelle (11)

Wisselsheim

Austauschionen

Zeit der Probe- entnahme	Tiefe in cm	AK-Wert mval/100g Boden	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na
			mval/100 g Boden			%		
Profil IIa								
III. 67	0-20	35,9	25,7	2,2	4,1	72	6	11
	20-40	24,8	17,8	1,5	0,7	72	6	3
IX. 67	0-20	36,9	18,9	4,7	7,5	51	13	20
	20-40	25,3	12,0	6,3	4,9	47	25	19
II. 68	0-20	34,7	18,5	7,5	5,3	53	22	15
Profil IIb								
III. 67	0-10	30,2	16,2	4,7	3,8	53	16	13
	10-35	22,9	14,6	2,3	-	64	10	-
	35-50	17,9	11,0	4,9	2,0	61	27	11
IX. 67	0-10	32,4	21,7	4,5	3,0	67	14	9
	10-35	21,3	13,2	3,8	2,9	62	18	14
	35-50	17,7	11,7	1,9	2,9	66	11	16
II. 68	0-10	29,4	17,5	7,4	4,3	59	25	15
VII. 68	0-10	30,1	20,2	4,8	2,5	67	16	8
	10-35	20,4	18,0	2,0	2,1	88	10	10
	35-50	17,7	15,0	3,2	2,0	85	18	11
Profil IIc								
III. 67	0-25	36,4	27,0	4,2	Sp.	74	12	Sp.
	25-50	32,1	24,0	5,7	2,1	75	18	7
	50-80	35,5	24,8	2,2	4,7	70	6	13
IX. 67	0-25	38,0	25,1	3,2	4,6	66	8	12
	25-50	32,2	24,0	4,9	2,7	75	15	8
	50-80	35,2	20,0	3,0	8,8	57	9	25
II. 68	0-25	35,7	22,0	6,5	Sp.	61	18	Sp.

VII. DIE SALZHALTIGEN BÖDEN BEI GRUND-SCHWALHEIM

1. Das Grundwasser im Boden

Bei Grund-Schwalheim handelt es sich im großen und ganzen um ein schwach mineralisiertes Grundwasser mit relativ niedrigen Schwankungen.

Der Salzboden in der Nähe von Grund-Schwalheim weist einen recht hohen Grundwasserstand auf, der entsprechend den Jahreszeiten um etwa 40 - 100 cm schwankt. Sowohl in Wisselsheim als auch in diesen Profilen verursachen die Entwässerungsgräben neben der Grundwasserbeseitigung im Oberboden einen Transport der gelösten Bestandteile des Wassers. Infolge ihrer maximalen wirtschaftlichen Nutzung haben der Römerbrunnen und die Kreuzquelle keine wesentlichen Einwirkungen auf die in unmittelbarer Nachbarschaft liegenden Böden.

An erster und zweiter Stelle stehen bei den zwei bereits angeführten Quellen die Mg - und Na -Anteile gefolgt von den Ca - Ionen. Auch die HCO_3 - und insbesondere die SO_4 -Ionen haben in diesen Quellen noch ziemlich hohe Werte. Diese Salzverbindungen und Salzkonzentrationen machen sich allerdings im Grundwasser nicht stark bemerkbar.

Der relativ geringe Anteil an Na - und Cl -Ionen in den wasserlöslichen Bestandteilen des Grundwassers ist hier hervorzuheben. Zum größten Teil fallen diese beiden Ionen im Einflußgebiet des Profils IIa vollständig aus, während bei Profil IIId eine erkennbare Steigerung ihrer Anteile (auf etwa 10 - 12 mval/l) beobachtet wurde (Tabelle 12). Als bedeutendster Ausgangspunkt für die weitgehende Ausgeglichenheit der Leitfähigkeitswerte im Grundwasser ist wohl das Ausbleiben maximaler Konzentrationen an Cl-Ionen anzuführen, da das Cl -Ion ein der beweglichsten chemischen Bestandteile ist.

Der Gehalt an Calcium ist bei den Profilen IIIa, IIIb und IIIc in einer Vorrangstellung; das Calcium wird dann jedoch im Profil IIId zuweilen von den Na - und Mg -Ionen verdrängt.

Tabelle (12)

Grund-Schwalheim

Salzgehalt des Grundwassers

Zeit der Probe- entnahme	Leitfkt. mmhos/cm bei 25°C	pH in H ₂ O	Kationen mval/l			Anionen mval/l			
			Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl
Profil IIIa									
IV. 67	1,1	7,8	7	4	-	-	9	Sp.	-
IX. 67	1,7	7,2	11	6	2	-	15	-	5
II. 68	2,1	7,3	13	7	3	-	15	-	5
Profil IIIb									
IV. 67	2,9	7,5	16	11	7	-	22	5	1
IX. 67	2,5	7,4	14	7	4	-	20	-	7
II. 68	2,6	7,3	16	8	5	-	21	Sp.	9
Profil IIIc									
IV. 67	1,9	7,2	14	16	-	-	10	9	1
IX. 67	2,0	7,2	10	7	4	-	9	8	5
II. 68	1,6	7,8	10	4	3	-	7	6	4
Profil IIId									
IV. 67	3,5	7,8	7	17	11	-	25	4	2
IX. 67	3,1	7,7	18	10	10	-	2	2	12
II. 68	3,1	7,5	8	14	12	-	22	2	10

2. Chemische Eigenschaften des Bodens

a. Organische Substanz

In Grund-Schwalheim sind sowohl im Oberboden als auch im Unterboden hohe Gehalte an organischer Substanz vorhanden ($12,4 - 18,2 \%$) (Abb. 13).

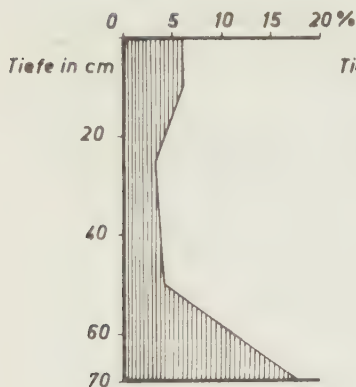
Die hohen AK-Werte in diesen Horizonten sind auf den hohen Humusgehalt zurückzuführen. Die organische Substanz nimmt zwar mit der Tiefe ab, sie steigt jedoch ab 50 cm Tiefe wieder rasch an. Schon unter 30 cm Tiefe zeigen die Profile einen leichten Anstieg, und den höchsten Gehalt erreichen sie bei 50 cm Tiefe. Wegen hohem Grundwasserstand konnten die weiteren tieferen Schichten nicht erfaßt werden.

b. Leichtlösliche Salze

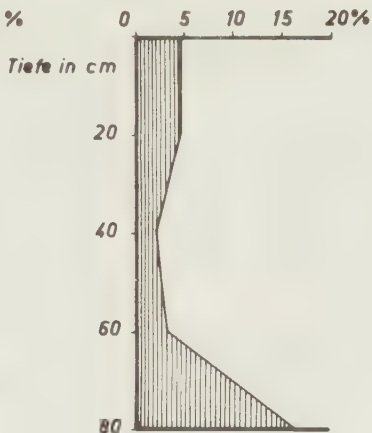
Die vier ausgesuchten Profile in Grund-Schwalheim zeigen den niedrigsten Salzgehalt von allen untersuchten Böden (Tabelle 13). Die Leitfähigkeitswerte im Bodenextrakt liegen ausnahmslos unter 4 mmhos/cm .

Der örtlich geringe Versalzungsgrad läßt es nicht zu, die jahreszeitlichen Schwankungen des Salzhaushaltes genau zu bestimmen. Der Leitfähigkeitsanstieg (bis auf etwa 3 mmhos/cm) ist im wesentlichen auf die leichte Steigerung der Ca-Konzentrationen, wie im Beispiel des Profils IIIa, zurückzuführen. Im Grunde genommen setzen sich diese Lösungen größtenteils aus Bikarbonaten und Sulfaten des Calciums zusammen. Die Na- und Cl-Ionen kommen nur in relativ geringen Mengen vor. Eine Annäherung des Magnesiumwertes an den des Natriums ist hier in den ersten drei Profilen zu beobachten. Sowohl in den Horizonten des Oberbodens als auch in den grundwassernahen Horizonten ist die Tendenz einer minimalen Salzzunahme in allen Profilen wahrscheinlich.

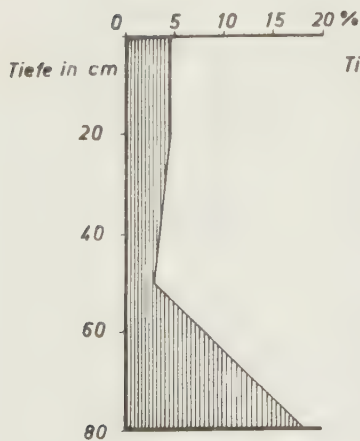
ORGANISCHE SUBSTANZ - Grund-Schwalheim



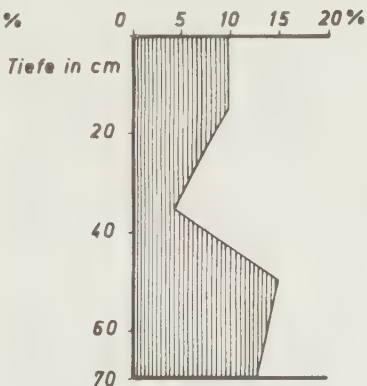
Profil IIIa



Profil IIIb



Profil IIIc



Profil IIId

Tabelle (13)

Grund-Schwalheim Leichtlösliche Salze im Sättigungsextrakt
der Böden

Zeit der Probe- entnahme	Tiefe in cm	pH in H ₂ O	Leitfkt. in mmhos/cm bei 25°C	Kationen mval/100g B.				An.mval/100g B.			
				Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl
Profil IIIa											
IV. 67	0-10	7,6	2,0	0,8	0,3	0,2	-	-	0,5	0,7	0,3
	10-25	7,8	1,2	0,5	0,2	0,1	-	-	0,3	0,3	0,1
	25-50	7,8	0,8	0,3	1,0	Sp.	-	-	0,2	0,1	0,1
	ab 50	7,5	1,2	0,6	0,2	0,1	-	-	0,3	0,5	0,3
IX. 67	0-10	7,6	3,1	2,4	0,7	0,4	-	-	0,9	2,4	0,4
	10-25	7,6	1,3	0,5	0,2	0,1	-	-	0,2	0,3	0,3
	25-50	7,7	2,0	1,2	0,4	0,1	-	-	0,3	1,1	0,3
	ab 50	6,5	2,5	3,0	1,3	0,4	-	-	0,8	2,7	1,3
II. 68	0-10	7,6	1,9	0,9	0,3	0,3	-	-	1,0	0,3	0,4
Profil IIIb											
IV. 67	0-20	6,3	0,7	0,3	0,1	0,1	-	-	0,2	-	0,2
	20-40	6,5	0,5	0,1	0,1	0,1	-	-	0,2	-	0,1
	40-60	7,0	0,4	0,1	0,1	Sp.	-	-	0,1	-	Sp.
	ab 60	7,1	0,7	0,3	0,2	0,3	-	-	0,1	-	0,6
IX. 67	0-20	6,8	1,8	1,1	0,5	0,3	-	-	0,7	0,6	0,4
	20-40	7,0	1,3	0,7	0,2	0,2	-	-	0,7	0,4	0,4
	40-60	7,2	1,2	0,6	0,3	0,1	-	-	0,3	0,3	0,2
	ab 60	7,5	2,2	1,4	0,4	0,4	-	-	0,7	0,4	0,5
II. 68	0-20	7,5	2,3	2,0	0,4	0,3	-	-	1,7	0,3	0,3
Profil IIIc											
IV. 67	0-20	6,2	1,7	1,0	0,3	0,1	-	-	0,2	1,1	0,3
	20-50	6,6	1,2	0,4	0,2	0,1	-	-	Sp.	0,7	0,2
	ab 50	6,5	1,5	0,2	0,8	0,2	-	-	Sp.	0,5	0,1
IX. 67	0-20	6,6	1,9	1,2	0,5	0,2	-	-	0,6	1,3	0,4
	20-50	7,3	1,4	0,6	0,2	0,2	-	-	0,2	0,6	0,1
	ab 50	6,6	1,7	0,7	0,3	0,3	-	-	0,1	1,0	0,1
II. 68	0-20	6,3	1,9	1,4	0,5	0,2	-	-	2,2	-	0,1
VII. 68	0-20	6,8	1,7	1,2	1,2	0,2	-	-	Sp.	1,2	0,8
	20-50	6,6	0,9	0,6	0,3	0,1	-	-	Sp.	0,6	0,6
	ab 50	7,0	1,5	1,0	0,8	0,3	-	-	Sp.	1,0	0,7
Profil IIIId											
IV. 67	0-15	7,8	1,4	0,4	0,4	0,2	-	-	0,5	0,4	0,1
	15-35	8,2	1,2	0,2	0,3	0,4	-	-	0,3	0,2	0,3
	35-50	8,3	1,5	0,2	0,4	0,5	-	-	0,2	0,3	0,4
	ab 50	7,9	2,0	0,3	0,4	0,8	-	-	0,3	0,3	0,8
IX. 67	0-15	7,9	2,2	0,8	0,8	0,5	-	-	1,2	0,1	0,4
	15-35	8,2	1,6	0,3	0,5	0,6	-	-	0,5	0,3	0,5
	35-50	7,7	2,6	1,5	0,7	1,0	-	-	0,5	1,2	2,0
	ab 50	7,6	2,3	0,9	0,7	0,9	-	-	1,9	0,4	1,2
II. 68	0-15	7,9	1,4	0,4	0,4	0,4	-	-	0,8	-	0,4

c. Austauschkapazität und austauschbare Kationen

Die außerordentlich hohen AK-Werte, besonders in der Tiefe von 50 - 80 cm, sind auf den hohen Ton- und Humusgehalt zurückzuführen. Der Austauschkomplex im Mittelteil der Profile IIIa - IIIc setzt sich aus überwiegend mineralischen Bestandteilen zusammen und erreicht deshalb in seiner Kapazität nicht die hohen Werte wie im Oberboden oder im Untergrund. Wegen der engen Ca - und Mg :Na -Verhältnisse in den Grund-Schwalheimer Böden ist Na nirgends im Komplex als Austauschcation festzustellen (Tabelle 14).

Der mit Abstand größte Anteil sorbierter Kationen besteht aus Calcium, dessen höchste Konzentration den hohen AK-Werten entspricht. Anders verhält es sich im Profil IIIId, in dem erstmals das Calcium durch den relativ hohen Magnesiumanteil zurückgedrängt wird. Das Magnesium nimmt hier teilweise im Grundwasser in der Bodenlösung und im Austauschkomplex eine vorherrschende Stellung ein.

Die absolut geringeren Leitfähigkeitswerte sowohl im Grundwasser als auch in der Bodenlösung und das Fehlen des Na am Austauschkomplex zeigen, daß es sich bei Grund-Schwalheim um einen sehr schwach salzhaltigen bis salzfreien Boden handelt.

Tabelle (14)

Grund-SchwalheimAustauschionen

Zeit der Tiefe AK-Wert	Ca	Mg	Na	Ca	Mg
Probe- in cm mval/100g	mval/100g Boden			%	
entnahme Boden					

Profil IIIa

IV. 67	0-10	29,8	20,1	5,3	-	67	18
	10-25	28,0	20,0	6,3	-	71	13
	25-50	28,5	19,2	4,3	-	67	15
	ab 50	62,2	43,1	14,2	-	69	23
IX. 67	0-10	28,5	22,8	3,2	-	80	11
	10-25	29,9	18,2	4,3	-	61	14
	25-50	30,0	25,5	4,3	-	85	14
	ab 50	68,4	54,9	15,0	-	80	22
II. 68	0-10	28,5	20,5	7,0	-	79	27

Profil IIIb

IV. 67	0-20	38,5	25,9	5,9	-	67	15
	20-40	32,0	22,4	7,0	-	70	22
	40-60	20,5	12,1	3,6	-	59	18
	ab 60	72,0	58,0	10,3	-	81	14
IX. 67	0-20	37,1	20,0	6,5	-	54	18
	20-40	32,2	22,7	4,3	-	70	13
	40-60	22,3	9,9	7,4	-	44	33
	ab 60	70,5	64,0	15,0	-	91	21
II. 68	0-20	37,5	28,0	10,0	-	75	27

Profil IIIc

IV. 67	0-20	41,6	29,3	8,3	-	70	20
	20-50	33,0	20,7	7,4	-	63	22
	ab 50	80,4	61,0	12,4	-	76	15
IX. 67	0-20	42,8	28,1	9,4	-	66	22
	20-50	30,5	16,6	10,1	-	54	33
	ab 50	74,3	50,5	13,8	-	68	19
II. 68	0-20	43,6	32,0	9,1	-	73	21
VII. 68	0-20	40,8	25,8	7,2	-	63	18
	20-50	28,7	22,0	4,3	-	77	15
	ab 50	77,0	68,9	10,4	-	89	13

Profil IIId

IV. 67	0-15	36,0	18,3	17,1	-	51	48
	15-35	37,7	21,4	22,2	-	57	59
	35-50	40,2	20,1	20,4	-	50	51
	ab 50	44,0	16,7	24,0	-	38	55
IX. 67	0-15	37,0	16,8	15,1	-	45	41
	15-35	36,7	12,9	19,7	-	35	54
	35-50	37,0	12,3	22,7	-	33	61
	ab 50	40,0	18,4	23,7	-	46	59
II. 68	0-15	35,9	22,0	17,0	-	61	47

VIII. ERÖRTERUNG DER SALZDYNAMIK IN DEN DREI GEBIETEN

Die chemische Untersuchung der salzhaltigen Böden in den beschriebenen Gebieten wurde folgenden Gesichtspunkten angepaßt:

Der Salzgehalt der Böden und die räumliche Verteilung der Salze sind Größen, die das Zusammenspiel geologischer, hydrologischer und klimatischer Faktoren widerspiegeln. Zu einem gegebenen Zeitpunkt sind die vorgefundenen Salzkonzentrationen in jedem einzelnen Falle das Ergebnis von sich gegenseitig verstärkenden oder aufhebenden Einflüssen des Salzzuflusses aus den Mineralquellen, des Grundwassers und des jahreszeitlich bedingten Verhältnisses von Niederschlägen zu Verdunstung.

Um eine Vorstellung von dem Ausmaß und der Entwicklungsrichtung des Versalzungsprozesses innerhalb eines Gebietes zu bekommen, erschien es demnach angebracht, die Salzbe-
wegung in Boden und Grundwasser sowohl im Raume als auch in der Zeit zu erfassen. Zu diesem Zweck wurde in jedem der drei untersuchten Gebiete eine Anzahl von Stellen ausgewählt, die nach ihrer Lage zu den vorhandenen Mineralquellen und ihrer Pflanzendecke entsprechend verschiedene Grade von Versalzung aufzuweisen schienen. Bei der Auswahl der Profile wurde nicht so sehr die Erfassung einer Vielzahl von Böden mit allen möglichen Versalzungsstufen als vielmehr die Charakterisierung des für das betreffende Gebiet bezeichnenden Chemismus angestrebt. Es erschien daher richtiger zu sein, die Untersuchung des Geländes auf etwa 3 - 4 Profile zu beschränken, in diesen aber den Salzhaushalt möglichst weitgehend aufzuklären. Hierzu wurden neben den leichtlöslichen Salzen im Boden auch die des Grundwassers bestimmt, soweit dieses erreichbar war.

Um den Einfluß des Klimas auf den Salzhaushalt des Bodens kennenzulernen, wurden Probeentnahmen von Boden und Grundwasser im Laufe von zwei Jahren an einigen Stellen bis zu viermal vorgenommen, entsprechend der Annahme eines durch den jahreszeitlichen Wechsel von Niederschlag und Temperatur verursachten Salzkreislaufs. Die anschließende Erörterung soll zeigen, inwieweit der eingeschlagene Weg zur Charakterisierung des Salzhaushaltes der Böden geeignet ist.

Zu der Bestimmungsmethodik ist folgendes zu sagen. In Grundwasserproben und am Sättigungsextrakt der Bodenproben wurden pH-Werte, Leitfähigkeit, lösliche Kationen (Ca , Mg , Na) und Anionen (CO_3 , HCO_3 , SO_4 , Cl) gemessen, am Boden außerdem die Austauschionen (Ca, Mg, Na). Kalium wurde weder als lösliches Ion noch als Austauschion in die Betrachtung einbezogen, da es bei Versalzungsprozessen nur recht selten eine Rolle spielt und seine Bestimmung darüber hinaus wegen seiner häufigen Festlegung am Sorptionskomplex von zweifelhaftem Wert ist (JANITZKY, P., 1957).

Wie aus den beigegeführten Tabellen hervorgeht, war es nicht zu allen Jahreszeiten möglich, Proben aus dem Unterboden zu entnehmen. Häufig stand das Grundwasser allzu nahe an der Oberfläche, so daß nur der Oberflächenhorizont G_0A erfaßt werden konnte.

1. M ün z e n b e r g

Die salzhaltigen Flächen bei Münzenberg stehen unter dem Einfluß zweier Quellen, die beide einen recht hohen Salzgehalt aufweisen. Unter den gelösten Bestandteilen stehen Natrium- und Chloridionen an weitaus erster Stelle. Trotz des hohen Salzgehaltes wirken sich die beiden Quellen auf die umliegenden Flächen sehr verschieden aus. Die Quelle bei der Junkermühle im nordöstlichen Teil des Gebietes hat zwar einen beträchtlichen Salzgehalt (19,1 mmhos/cm), ihr Wasser wird jedoch zu einem großen Teil vom Grundwasser der Wetter abgefangen. Hingegen kommt die versalzende Wirkung der in der nordwestlichen Ecke des Gebietes gelegenen Quelle (kurz "Quelle bei Profil Ib" genannt) infolge der größeren Entfernung von der Wetter zur vollen Geltung, wie aus den Werten für den Salzgehalt in den entsprechenden Profilen hervorgeht.

Vier Profile wurden im Münzenberger Raum ausgewählt. Zwei davon (Ib und Id) liegen innerhalb der von den Salzquellen gespeisten Schilf- und Halophytenstandorten beiderseits der Wetter. Von den beiden übrigen Profilen (Ia und Ic) liegt das erste offenbar außerhalb des Einwirkungsgebietes der Salzquelle oder ganz an dessen Rand. Es wurde daher als Vergleichsboden herangezogen, während Ic sich auf halbem Wege zwischen dem salzhaltigen Schilfsumpf und der salzfreien Uferbank der Wetter befindet und somit Versalzung und Entsalzung unterworfen ist.

Die Annahme eines jahreszeitlich bedingten Salzkreislaufs hat sich für das Münzenberger Gebiet nur teilweise bestätigt. Wie ein Vergleich der Werte für die Leitfähigkeit im Grundwasser und im Sättigungsextrakt der Böden in den einzelnen Monaten zeigt, scheint ein mit den Winterniederschlägen erwartetes Abklingen der Salzkonzentration nach dem Anstieg im Sommer nicht in allen Fällen ein-

zutreten. Die Dynamik des Natriums und der Chloride als der beweglichsten Verbindungen zeigt deutlich, daß ein Teil der untersuchten Profile entweder einem zeitlich langfristigeren, d.h. über ein Jahr hinausgehenden Zyklus unterworfen ist, oder aber einer progressiven Zunahme des Salzgehaltes entgegenggeht.

Im März 1967 erwies sich das Profil Ia als praktisch salzfrei. Einer leichten Zunahme der löslichen Salze im September folgte im Februar des nächsten Jahres kein nennenswerter Rückgang auf den Ausgangsgehalt. In Anbetracht des ohnehin geringen Salzgehaltes in diesem Randprofil mag dieser Umstand kaum von Bedeutung sein. In weit stärkerem Maße tritt diese Tendenz jedoch in dem Profil Ib auf. Nach einem Anstieg der Salzkonzentration im Grundwasser von 6,0 mmhos/cm im März 1967 auf 23,9 mmhos/cm im September desselben Jahres ist sie zum Februar 1968 nur um 0,4 mmhos/cm auf 23,5 mmhos/cm zurückgegangen. Noch schärfer und eindeutiger sind die Unterschiede der Werte des Sättigungsextrakts des Profils. Eine Abschwächung der Salzkonzentration über Winter macht sich hier überhaupt nicht bemerkbar. Es findet eine progressive Zunahme nahezu aller löslichen Bestandteile statt, hauptsächlich des Natriums und der Chloride.

Verhältnismäßig ausgeglichener scheint der Salzhaushalt in den beiden Profilen auf der östlichen Seite der Wetter zu sein. Die Gesamtkonzentrationen liegen hier wesentlich unter denen des Profils Ib, was mit der schwächeren Wirkung der Quelle bei der Junkermühle zu erklären ist. Auch tritt der entsalzende Einfluß der Winterauswaschung durch Niederschläge und Grundwasser der Wetter zutage. Einen merklichen Anstieg des Salzgehaltes im Grundwasser des Profils Id von 5,1 mmhos/cm auf 8,7 mmhos/cm im Sommer steht ein Rückgang auf 6,0 mmhos/cm im nächsten Frühjahr gegenüber. Besonders deutlich folgen dieser Tendenz die Salz-

konzentrationen im Sättigungsextrakt. Nach einem Anstieg von 4,2 mmhos/cm auf mehr als den doppelten Wert von 9,5 mmhos/cm im Sommer geht die Leitfähigkeit über Winter fest auf den ursprünglichen Wert (4,5 mmhos/cm) zurück. Dennoch darf nicht übersehen werden, daß auch dieses Profil anscheinend einer allmählichen Zunahme seines Versalzungsgrades unterliegt, wie die langsam wachsenden Konzentrationen der leichtlöslichen Salze im Sättigungsextrakt andeuten.

Auf den ersten Blick nimmt das Profil Ic hinsichtlich der Dynamik seiner Salze eine Mittelstellung zwischen dem intensiv versalzten Profil Ib und dem einen stabileren Salzhaushalt aufweisenden Profil Id ein. Die Grundwassermine-
ralisierung entwickelt sich in einem ähnlichen Sinne wie bei Ib, indem die Werte geradlinig von einem Frühjahr zum anderen ansteigen, ohne einen winterlichen Tiefpunkt zu erfahren. Demgegenüber zeigt der Salzgehalt im Boden noch einen deutlichen Höhepunkt mit 8,0 mmhos/cm an. Der Wert 5,1 mmhos/cm des darauffolgenden Frühjahrs liegt zwar tiefer, aber dennoch beträchtlich höher als der des vorhergegangenen Frühjahrs (3,8 mmhos/cm). Berücksichtigt man die Tatsache, daß die Herbst- und Winterniederschlagsmengen in dem betreffenden Jahre über dem langjährigen Mittel lagen, so liegt der Schluß nahe, daß die von den Salzquellen betroffenen Flächen im Münzenberger Raume z. Zt. einem allgemeinen Versalzungsprozeß unterworfen sind.

Nun erbringt eine nähere Betrachtung der Untersuchungsergebnisse ein etwas genaueres Bild dieses Prozesses. Die Werte für die Cloridionenkonzentrationen im Boden wie im Grundwasser spiegeln sehr einheitlich die Zunahme der Chloride ohne Ausnahme in allen vier Profilen wider. Vergleicht man aber die Menge der Austauschionen und besonders ihre Anteile am Sorptionskomplex sowohl in räumlicher

Verteilung als auch in den einzelnen Jahreszeiten, so zeigt es sich, daß nur in dem Profil Ib eine echte Alkalisierung stattfindet, d.h. nur hier nimmt der Anteil des Austauschnatriums absolut und prozentual zu (von 16 % im März 1967 auf 28 % im Juli 1968). In den übrigen Profilen erfolgt entweder gar kein Natriumeintausch (wie in Ia) oder eine stetige Abnahme des Austauschnatriumanteils.

Dieses Ergebnis scheint mit den Werten für die Anteile des löslichen Natriums im Sättigungsextrakt und im Grundwasser im Widerspruch zu stehen. Die Antwort hierauf ist in dem Verhältnis von $(Ca + Mg) : Na$ zu suchen. Aufgrund einer großen Zahl von Laboratoriumsversuchen und Feldbeobachtungen verschiedener Autoren hat es sich erwiesen, daß Na mit den zweiwertigen Basen des Ca und Mg am Sorptionskomplex nur dann konkurrieren kann, wenn es den Gehalt der Ca- und Mg-Ionen in der Bodenlösung um mindestens das Vierfache übersteigt (ANTIPOV-KARATAEV, J.N., 1954, JANITZKY, P., 1957). Dieser empirische Wert gilt für Systeme mit neutral reagierenden Verbindungen, d.h. für solche Fälle, in denen die Anionen sich in der Hauptsache aus Sulfaten oder Chloriden zusammensetzen. Nur bei einem Überwiegen von löslichen Karbonaten und Bikarbonaten in der Bodenlösung erfolgt ein rascher Natriumeintausch auch bei den wesentlich engeren $(Ca + Mg) : Na$ -Verhältnissen, da ein ständiger Ausfall von Ca und Mg als schwerlösliche Karbonate erfolgt und Na ungehindert angelagert wird.

In den Münzenberger Salzböden steigt die Konzentration der Natriumsalze in den Bodenlösungen zwar merklich an, aber es findet gleichzeitig auch eine leichte Zunahme der zweiwertigen Kationen statt. Diese Zunahme ist hinreichend groß, um eine der Zunahme des löslichen Na entsprechende Anlagerung des letzteren in den meisten Fällen zu verhindern. Durchschnittlich schwankt das Verhältnis $(Ca + Mg) : Na$ in den Profilen Ia, Ic und Id und in deren Grundwasser

oder Sättigungsextrakt etwa um 1:1 bis 1:3 und liegt demnach unter dem Wert 1:4. Ca überwiegt am Sorptionskomplex weitgehend. Es erfährt im Sommer durch die Konzentration der Bodenlösung noch einen Zuwachs und ist der verdünnenden Wirkung der Winterniederschläge nur wenig unterworfen. Mg als stärker hydratisiertes Ion wird zwar in einigen Fällen (Ia, Id) über Sommer von Ca etwas verdrängt, tauscht jedoch auf Kosten des Natriums wieder ein.

Auch die Möglichkeit eines Na -Eintausches durch den Ausfall der zweiwertigen Kationen als schwerlösliche Karbonate ist nicht gegeben. Lösliche Alkalikarbonate fehlen gänzlich, und auch die Konzentration der Bikarbonate ist relativ niedrig. Hinzu kommt, daß die allgemeinen Voraussetzungen für das Bestehen von stabilen Lösungen des Ca $(\text{HCO}_3)_2$ oder $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ recht günstig sind: genügend Feuchtigkeit durch hohen Grundwasserstand und eine dichte Pflanzendecke, deren Wurzeln CO_2 in ausreichendem Maße ausscheiden, um Ca und Mg auch in der Bikarbonatform in Lösung zu erhalten.

Das Profil Ib unterscheidet sich hinsichtlich seines HCO_3 -Gehaltes zwar nur wenig von den übrigen Profilen, jedoch nimmt die Na-Anlagerung hier wie erwähnt sehr eindeutig zu. Der Hauptgrund hierfür ist in diesem Falle wohl das $(\text{Ca} + \text{Mg}) : \text{Na}$ -Verhältnis, welches z.B. im Grundwasser erstmalig Werte von etwa 1:4 erreicht. Dementsprechend steigen auch die Anteile des eingetauschten Na auf 19 % und sogar auf 28 %. Endlich macht sich hierbei auch ein beträchtliches Absinken des austauschbaren Ca bemerkbar, während Mg sich gleich stark mit Na anlagert.

Dieses Profil spiegelt deutlich die Zusammensetzung der Salze in der nahegelegenen Quelle wider, in der ebenfalls ein $(\text{Ca} + \text{Mg}) : \text{Na}$ -Verhältnis von 1:4 gemessen wurde. Die Quelle bei der Junkermühle weist sogar ein für die Na-Anlagerung noch etwas günstigeres Verhältnis von 1:4,3 auf.

Allerdings wirkt sich deren Wasser aus vorhergenannten Gründen entschieden weniger auf die umliegenden Ländereien aus.

Die hier gemachten Feststellungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Das Salzgebiet bei Münzenberg erhält stellenweise eine recht beträchtliche Zufuhr an leichtlöslichen Salzen aus Mineralquellen. Obwohl das Wasser dieser Quellen überwiegend Natriumionen enthält, ist eine fortschreitende Alkalisierung der Böden kaum zu befürchten, da eine gleichzeitige Zufuhr von zweiwertigen Erdalkalimetallen eine Sättigung des Sorptionskomplexes mit Natrium verhindert; letzteres bleibt daher weitgehend in der Bodenlösung.

Da die Tonfraktion vorherrschend mit Ca gesättigt ist, dürfte eine wesentliche Verdichtung der Bodenhorizonte trotz der Anwesenheit des Natriums wohl kaum zu erwarten sein. Senkrecht oder seitwärts gerichtete Wasserströme werden daher jeweilige Überschüsse von Salzen ohne Verzögerung der Wetter zuführen können. Diese Vermutung erhält eine Bestätigung in der Tatsache, daß das gesamte Gebiet trotz der festgestellten Salzgehalte in Oberflächennähe dennoch nirgendwo einen Pflanzenschwund aufweist, wie dies häufig in ariden Klimazonen der Fall ist, sobald die Wasserbewegung ins Stocken gerät und die angesammelten Salze das Pflanzenwachstum beeinträchtigen.

2. W i s s e l s h e i m

Im Bereich der salzhaltigen Flächen bei Wisselsheim liegen zwei Quellen, in deren Umgebung sich Böden mit verhältnismäßig hohem Salzgehalt entwickelt haben. Die das Gelände durchziehenden Entwässerungsgräben befördern zwar einen

Großteil der aus den Quellen herrührenden Salze in die Wetter, tragen allerdings auf der anderen Seite zu einer gewissen Verfrachtung der Salze in die Umgebung bei. Obwohl sich beide Quellen am südlichen Rande des Gebietes befinden, wirkt sich eine von ihnen (Q2) noch recht weit in nördlicher Richtung aus. Parallel zu dem langen, nord-südlich verlaufenden Graben verläuft ein langgezogener, mit Schilf und Halophyten bestandener Streifen salzhaltiger Böden, der in das am nördlichen Ende gelegene Naturschutzgebiet übergeht. Zwischen diesem Streifen und der Wetter liegt eine Zone, die dem Augenschein nach aus guten Mähwiesen besteht. In Wirklichkeit wird sie von einem Grundwasser unterlagert, dessen Mineralisierung sich nur wenig von der des Quellwassers und des Grundwassers unter den Schilfflächen unterscheidet. Offensichtlich wird durch die teilweise abfangende Wirkung des Grabens erreicht, daß die Quellwässer in dieser Zone nicht in voller Stärke zur Oberfläche aufsteigen.

Die einfache Aufgliederung des Gebietes in zwei Zonen erlaubte es, hier nur zwei Stellen zu untersuchen. Das Profil IIa ist mitten im versalzten Naturschutzgebiet gelegen. IIb liegt auf halbem Wege zwischen ihm und der Wetter im Bereich der Mähwiesen. Zusätzlich wurde jedoch noch eine dritte Stelle (Profil IIc) ausgewählt, die wenige Meter von der unmittelbar an der Uferbank der Wetter gelegenen Quelle (Q1) entfernt ist. Diese Quelle hat offenbar nur wenig Wirkung auf das umgebende Gelände, da der Großteil ihres Wassers durch einen Graben in die Wetter abfließt. Dennoch zeigen die Werte dieses Profils IIc, daß der Untergrund der direkt angrenzenden Flächen recht empfindlich von dieser Quelle beeinflusst wird.

Alle drei Profile haben sehr salzreiches Grundwasser. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß dieses Wasser hinsichtlich seines Mineralisierungsgrades sowie seiner Salzzu-

sammensetzung über größere Strecken von einheitlicher Beschaffenheit ist und sowohl dem Wasser der beiden Quellen als auch den Münzenberger Quell- und Grundwässern sehr ähnelt. Diese einheitliche chemische Zusammensetzung ist eine einwandfreie Bestätigung für den gemeinsamen Ursprung der entlang der tektonischen Verwerfungslinien aufsteigenden Salzlösungen.

Für die Beurteilung der Bodenversalzung in den einzelnen betroffenen Landschaftsteilen bedeutet dies, daß bei gleicher Salzzusammensetzung der Grundgewässer Unterschiede in der Verteilung der Salze in der Hauptsache auf Niederschlagsintensität und Abflußmöglichkeit zurückzuführen sind. Die durch das Zusammenkommen von Salzen verschiedener Art und Herkunft (z.B. sekundäre Alkalisierung als Folge von Anionenumwandlungsprozessen) bedingten Unterschiede in Konzentration und Verteilung der Salze in Böden, wie sie so häufig in den trockenwarmen Landschaften beobachtet werden, treten demgegenüber weitgehend zurück.

Im Einzelnen wurden im Wisselsheimer Gebiet folgende Verhältnisse festgestellt:

Das im Naturschutzgebiet gelegene Profil IIa ist von der Wetter am weitesten entfernt. Wegen des hohen Grundwasserstandes konnten meistens nur zwei Horizonte erfaßt werden. Obwohl die Grundwassermineralisierung von den drei Profilen hier im Durchschnitt am niedrigsten ist, liegen die Salzhorizonte am dichtesten unter der Oberfläche und haben auch von allen drei Böden den höchsten Salzgehalt in den jeweils entsprechenden Jahreszeiten. Die Schwankungen des Salzgehaltes in diesen oberen Horizonten während der Untersuchungszeit sind zwar im allgemeinen deutlich ausgeprägt, aber offenbar hatte während der dem März 1967 vorangegangenen Wintermonate keine tiefgehende Auswaschung der Salze stattgefunden. Die Leitfähigkeit im Sättigungsextrakt ist vom Frühjahr zum Herbst 1967 nur von 16,0 auf

17,8 mmhos/cm angestiegen, um dann zum nächsten Frühjahr sehr stark abzusinken. Die gleiche Tendenz zeigt auch das in dem Wiesenstreifen gelegene Profil IIb. Auch hier erfährt der Leitfähigkeitswert des Frühjahrs keinen nennenswerten Anstieg im September und geht ebenfalls sehr beträchtlich über Winter zurück. Der darauffolgende Anstieg im Sommer 1968 von 4,0 auf 8,3 mmhos/cm zeigt schon eher den jahreszeitlichen Einfluß. Allerdings wird der vorjährige Wert von 12,5 mmhos/cm keineswegs erreicht, nicht einmal der Ausgangswert des März 1967 (11,0 mmhos/cm). Es taucht demnach auch hier die Frage auf, ob die während der Untersuchungsperiode eindeutig festgestellte Abnahme des Gesamtsalzgehaltes in diesen Böden wirklich eine fortschreitende Entsalzung darstellt oder nur eine unregelmäßige Gestaltung des Jahreskreislaufs widerspiegelt. In beiden Böden (IIa, IIb) fällt die Leitfähigkeit von etwa 20 auf 12,8 mmhos/cm ab. Besonders bei IIa ist dieser Abfall hinsichtlich der meisten Bestandteile nahezu geradlinig, während in IIb die Na -, HCO_3 - und Cl -Ionen über Sommer noch eine leichte Zunahme erfahren, um dann jedoch zum nächsten Frühjahr auf den gleichen niedrigen Wert wie in IIa beträchtlich zurückzugehen.

Alle bisher erwähnten Profile in Münzenberg und Wisselsheim zeichnen sich durch relativ hohen Tongehalt aus (Durchschnitt 15 %). Demzufolge erreicht das Grundwasser beträchtliche Steighöhen und bringt die in ihm gelösten Salze während der feuchten Jahreszeit bis zur Bodenoberfläche herauf. Mit zunehmenden Temperaturen im Sommer verdunstet das Wasser, der Grundwasserspiegel fällt ab und hinterläßt die ausfallenden Salze in den oberen Horizonten. Hier findet daher während der Sommermonate eine Zunahme des Salzgehaltes statt. Die einsetzenden Winterniederschläge lösen einen Großteil der angesammelten Salze wieder auf und spülen die Salzlösungen in tiefere Bodenschichten hinab. Das durch Niederschläge und Flußwasser verdünnte Grundwas-

ser steigt wieder an, und der Kreislauf beginnt von neuem.

Die Schwankungen des Salzgehaltes in den oberen Bodenhorizonten richten sich in erster Linie nach der Intensität der winterlichen Auswaschungen, während für die tieferen Schichten die Höhe des salzführenden Grundwasserspiegels entscheidend ist. Da dieser in der Regel nur auf höchstens 80 cm Tiefe zurückgeht, bleibt der Mittelteil der Profile im Kapillarbereich des Grundwassers, so daß der Salzgehalt hier wesentlich geringere Schwankungen erfährt als im oberflächennahen Horizont. Im Profil Ic in Münzenberg z.B. steigt der Salzgehalt vom März bis September von 3,8 auf 8,0 mmhos/cm im oberen Horizont G_{0A} (0 - 20 cm), im darunterliegenden Horizont G_{0B} (20 - 40 cm) dagegen von 3,6 auf 4,5 mmhos/cm. Im Profil IIb in Wisselsheim schwanken die Werte im Laufe der Untersuchungsperiode zwischen 4,0 und 12,5 mmhos/cm im G_{0A} -Horizont (0 - 10 cm), während sie sich im nächstfolgenden Horizont G_{01} (10 - 35 cm) nur zwischen 7,8 und 8,5 mmhos/cm bewegen.

Je tiefer der Grundwasserspiegel während der Sommerzeit abfällt, umso stärker macht sich eine Differenzierung der Salzkonzentration in den einzelnen Horizonten bemerkbar. Während in allen Münzenberger Profilen und im Profil IIa in Wisselsheim die Salzverteilung recht einheitlich ist und eine eindeutige Konzentration der Salze in Oberflächennähe zu allen Jahreszeiten vorherrscht, läßt das Profil IIb bereits einen beginnenden Abriß des Grundwassers von der Bodenoberfläche erkennen. Da das Grundwasser hier in zwei aufeinanderfolgenden Frühjahrten nicht über 50 cm Tiefe ansteigt, verringert sich auch die Zufuhr von Salzen zum G_{0A} -Horizont (0 - 10 cm). Dieser erfährt zwar im Sommer noch eine leichte Erhöhung der Salzkonzentration, jedoch erfolgt dieser Anstieg hauptsächlich auf Kosten der verdunstenden Salzlösungen aus dem unmittelbar darunterliegenden Teil des Profils, nicht aber aus den Grundwas-

serhorizonten. Die Absenkung des Kapillarsaumes des Grundwassers hat also offenbar zur Folge, daß sich im Profil zwei Horizonte mit wechselndem Salzgehalt herauszubilden beginnen - eine in genetisch weiter entwickelten Salzböden der ariden Gebiete häufig vorkommende Erscheinung. Im fortgeschrittenen Stadium der Auslaugung und Tonverfrachtung wird der G_{oA} -Horizont nicht mehr vom Grundwasser beeinflusst. Der sich durch Toneinschlammung entwickelte Illuvialhorizont G_o (10 - 35 cm) wirkt wie eine waagerechte Trennwand, die weder Salzlösungen aus dem Grundwasser nach oben steigen, noch das Niederschlagswasser absinken läßt. Letzteres sammelt sich größtenteils an der Oberfläche des Illuvialhorizontes an und verdunstet später in der warmen Jahreszeit. Etwaige Restsalze werden hierbei zur Bodenoberfläche verfrachtet und können auf diese Weise noch lange Zeit im oberen Teil des Bodens verbleiben.

Unterhalb des G_o -Horizontes nimmt der Salzgehalt mit Annäherung an den Kapillarsaum des Grundwassers wieder zu.

Es ist unbestimmt, ob eine derartige Entwicklung im Profil IIb tatsächlich vorliegt oder jemals unter gegebenen Verhältnissen soweit fortschreiten kann. Ein gewisser Anklang an die erwähnte Dynamik ist allerdings vorhanden, wenn man die Verteilung der Salze im Profil betrachtet.

Der Mittelhorizont G_o (10 - 35 cm) weicht deutlich sowohl von dem Oberflächenhorizont A_h (0 - 10 cm) als auch von den tieferen, sich dem Grundwasser nähernden G_{or} -Horizonten ab. Der Tongehalt in diesem Horizont steigt von 5,7 auf 11 % und ist auch höher als in der Tiefe 35 - 50 cm. Wie schwierig ein endgültiger Schluß über die Salzdynamik in diesen Böden ist, zeigt die Tatsache, daß schon im darauffolgenden Jahre eine andere Situation vorliegt. Nach reichlicher Winterfeuchtigkeit sinkt der Salzgehalt im Oberflächenhorizont im Februar 1968 auf 4,0 mmhos/cm ab und nimmt zum Juli wieder normal zu, wobei alle lös-

lichen Bestandteile mit zunehmender Tiefe des Profils sich stetig verringern, ohne ein Zwischenminimum zu bilden.

Leichter zu überblicken ist der Salzhaushalt des Profils IIc, Art und Verteilung der Salze in Boden und Grundwasser sowie deren klar ausgeprägte jahreszeitliche Dynamik erlauben für diesen Boden ziemlich eindeutige Aussagen. Von allen Böden zeichnet er sich durch den geringsten Tongehalt (durchschnittlich 3,8 %) bis zu einer Tiefe von 80 cm aus. Dies ist wohl der Hauptgrund für die relativ geringe kapillare Steighöhe des Grundwassers, dessen Höchststand im März 1968 80 cm betrug, während in den meisten anderen Profilen ein wesentlich höherer Grundwasserstand vorgefunden wurde. Infolgedessen wirken sich die Salze des Grundwassers auf den A_n -Horizont (0 - 25 cm) kaum aus, obwohl ihre Konzentration, gemessen an den Chloridionen, zu allen Jahreszeiten deutlich über der in IIa und IIb lag. Erst mit zunehmender Tiefe steigt der Salzgehalt des Bodens an und erreicht sein Maximum in dem unmittelbar über dem Grundwasserspiegel liegenden Horizont G_r (60 - 80 cm).

Eine solche Verteilung der Salze wurde nur in diesem Profil festgestellt. Dabei erschien sie weitgehend stabil zu sein, da sie sowohl im Frühjahr als auch im Herbst beibehalten wird, obwohl jeder Horizont für sich die sommerliche Zunahme des Salzgehaltes widerspiegelt. Dieser Umstand kann nur mit der Tatsache erklärt werden, daß das Grundwasser keinen nennenswerten Einfluß auf die oberen Bodenhorizonte ausübt. Es findet lediglich eine leichte Erhöhung der Salze in der warmen Jahreszeit statt, worauf die Winterniederschläge den im Sommer ausgefällten Überschuß der Salze wieder nach unten waschen und der Salzgehalt an der Oberfläche auf den des vorhergehenden Frühjahrs zurückgeht. Die Salzkonzentration des Grundwassers

selbst ist, wie schon erwähnt, die höchste unter den drei Profilen, was auch aus den sehr hohen Leitfähigkeitswerten im Sättigungsextrakt des G_r -Horizontes (50 - 80 cm) besonders im September 1967 hervorgeht. Der Grund hierfür ist zweifellos die unmittelbare Nähe der Salzquelle.

Es entsteht die Frage, in welches genetische Stadium die gegenwärtige angetroffene Verteilung und jahreszeitliche Bewegung der Salze in diesem Profil einzuordnen ist. War dieser Boden in seinem oberen Teil zuvor jemals stärker versalzt und hat zur Zeit ein spätes Stadium der Auslaugung erreicht? Oder ist er einer allmählichen von der Tiefe her fortschreitenden Versalzung unterworfen? Oder halten sich hier schließlich die für die beiden entgegengesetzten Prozesse verantwortlichen Faktoren die Waage?

Eine Betrachtung der Kornzusammensetzung (Tabelle 4) zeigt, daß das Profil IIc sich von den beiden anderen Wisselsheimer Böden durch einen auffallend geringen Tongehalt einerseits und einen relativ hohen Fein- und Grobsandgehalt andererseits unterscheidet. Seiner Lage innerhalb des Schwemmlandes der Wetter nach zu urteilen, bildete sich dieser Boden aus den gröberen Fraktionen, die sich in nächster Nähe des Flußbettes absetzen, während der Ton an der Peripherie der überschwemmten Aue sedimentiert, wie dies an dem Aufbau von Profil IIa zu sehen ist. Der gleichmäßige niedrige Tonanteil von etwa 3,8 % bis in 80 cm Tiefe im Profil IIc läßt kaum vermuten, daß hier etwaige Verlagerungsprozesse stattgefunden haben. Es ist demnach anzunehmen, daß der Salzgehalt des Bodens zumindest in dessen oberen Teil zuvor im allgemeinen nicht höher gewesen sein dürfte als jetzt. Ferner deutet die Zusammensetzung der Austauschionen (Tabelle 11) an, daß das Natrium trotz seiner hohen Konzentration im Grundwasser keine bemerkenswerte Differenzierung der Tonfraktion im Profil verursachen konnte. Es taucht zwar über Sommer

vorübergehend in messbaren Mengen im oberen Horizont auf, wird jedoch rasch wieder in den Untergrund gewaschen, wo es sich allerdings in bedeutendem Maße (bis zu 25 %) am Austauschkomplex anlagert. Die jeweilige Auslaugung des Natriums aus dem oberen Teil des Profils bleibt für den Ton ohne Folgen wegen des durchweg hohen Gehaltes an Austauschcalcium, das eine Verdichtung der ohnehin tonarmen Horizonte und damit eine Verringerung der Durchlässigkeit verhindert.

Nicht so günstig gestaltet sich die winterliche Auslaugung in den beiden anderen Profilen (IIa und IIb). Die aus geringerer Tiefe aufsteigenden Grundwassersalze erreichen den oberen Horizont in wesentlich größeren Mengen als in IIc, in beiden Profilen verhalten sich die Anteile der Austauschionen in dem Zeitraum März bis September 1967 im ähnlichen Sinne wie die Gehalte an leichtlöslichen Salzen, d.h. in IIa erfolgt eine Zunahme an Austausch-Natrium und -Magnesium, und in IIb nehmen beide Ionen leicht ab. Während die Salze in der Bodenlösung beider Böden zum nächsten Jahr in ihrer Konzentration stark absinken, bleibt die Verteilung der Austauschionen nahezu unverändert: gegenüber dem Vorjahre hat sich der Anteil des Natriums noch leicht erhöht, und besonders stark ist der Anteil des Magnesiums auf Kosten des Calciums gestiegen. Wenn auch im darauffolgenden Herbst der Austauschnatriumgehalt im Oberflächenhorizont des Profils IIb wieder leicht zurückgeht, so bleibt der Anteil des angelagerten Magnesiums dennoch auf gleicher Höhe.

Nach Janitzky (1957) ist bekannt, daß das Magnesiumion in chemischer Hinsicht als zweiwertiges Kation sich ähnlich verhält wie das Calciumion, auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens jedoch fast wie das Natriumion eine recht ungünstige Wirkung ausübt. In nassem Zustand verschlämmt der magnesiumreiche Boden leicht und verliert

seine Durchlässigkeit, und nach dem Austrocknen wird er rissig und äußerst hart. In Anbetracht des erhöhten Tongehaltes besonders im Profil IIb kann daher vorausgesagt werden, daß bei zeitweiligen Austauschmagnesiumanteilen bis zu 25 % im oberen Teil des Bodens ein natürlicher Entsalzungsprozess sich in diesen beiden Profilen recht lange hinziehen kann.

3. G r u n d - S c h w a l h e i m

Das Untersuchungsgebiet bei Grund-Schwalheim übertrifft zwar flächenmäßig die Gebiete von Münzenberg oder Wisselsheim, steht jedoch in Bezug auf den Versalzungsgrad weit hinter jenen zurück. Es stellt ein fast ebenes Wiesengelände dar, in das hier und da einige Schilf- und Halophytenflecken eingestreut sind. Das gesamte Gelände weist ein ziemlich hoch anstehendes Grundwasser auf, dessen Spiegel je nach Jahreszeit etwa zwischen 40 und 100 cm unter Flur schwankt. Die Grundwassernähe macht ein Entwässerungssystem erforderlich, wodurch die Nutzung der Flächen als Mähwiesen ermöglicht wird. Ähnlich wie in Wisselsheim bewirken die Entwässerungsgräben jedoch neben ihrem Hauptzweck der Grundwasserabschöpfung eine Anreicherung der in diesem Wasser gelösten Salze in Geländeteilen, die wegen ihrer Entfernung von den Salzquellen sonst kaum irgendetwelche Salze enthalten würden.

Wie an anderer Stelle bereits erwähnt wurde, werden die in der Gegend vorkommenden Salzquellen wirtschaftlich genutzt. Der Römerbrunnen als wichtigste Quelle hat daher seinen Einfluß auf die umliegenden Böden weitgehend verloren. Der im Boden vorgefundene recht schwache Versalzungsgrad schwankt je nach Entfernung von irgendeinem der das Gelände durchziehenden Gräben. Relativ besser wahrnehmbar wird der Salzgehalt der Böden mit Annäherung an

die Kreuzquelle.

In dem Gebiet wurden vier Profile ausgewählt. Die Auswahl richtete sich nach der Lage der Schilf- und Halophytenflächen, da nur in diesen ein Vorhandensein von leichtlöslichen Salzen anzunehmen war.

Das Profil IIIa liegt innerhalb einer Halophytengesellschaft etwa 400 m von der Römerquelle entfernt. Da sich in seiner Nähe keine Gräben befinden, kann man dieses Profil als Vergleichsboden hinsichtlich der Salzeinwirkung in dieser Gegend betrachten.

Das zweite Profil IIIb befindet sich etwa auf halbem Wege zwischen den beiden Quellen und wird von einem naheliegenden Entwässerungsgraben beeinflusst sein.

Die beiden letzten Profile IIIc und IIId liegen zumindest im ehemaligen Wirkungsbereich der Kreuzquelle. Da ihr Salzungsgrad relativ höher ist als der in den vorhergehenden Profilen, liegt die Vermutung nahe, daß die Quelle die benachbarten Grundwässer noch immer beeinflusst.

Ein Vergleich der Werte für die Grundwassermineralisierung in allen drei Untersuchungsgebieten (Tabellen 6, 9, 12) erlaubt folgende Aussagen für die Grundwässer bei Grund-Schwalheim:

Der Anteil der Na - und Cl -Ionen an den wasserlöslichen Bestandteilen ist auffallend gering. Im Grundwasser des Profils IIIa fehlen diese beiden Ionen zuweilen gänzlich. Lediglich im Profil IIId wächst ihre Konzentration bis etwa 10 - 12 mval/l an, was nur etwa die Hälfte des absolut niedrigsten Gehaltes an Chloriden in den beiden anderen Gebieten (19 mval/l in Profil Ib) ausmacht. Im Durchschnitt ist dieser Unterschied, besonders bei Natrium, noch erheblich größer.

Wegen des schwachen Na-Gehaltes rückt Ca in den Grundwässern der Profile IIIa, IIIb und IIIc unter den gelösten Kationen anteilmäßig zur ersten Stelle auf. Nur im Profil IIId wird es zeitweilig von Na und Mg zurückgedrängt. Das Grundwasser dieses Profils spiegelt offenbar noch am deutlichsten die Salzzusammensetzung der Quellwässer in dieser Gegend wider. Sowohl die Kreuzquelle als auch der Römerbrunnen haben relativ hohe Mg - und Na-Anteile, während Ca an dritter Stelle steht. Auch die HCO_3 - und besonders die SO_4 -Konzentrationen sind in diesen Quellen verhältnismäßig höher als in Münzenberg und Wisselsheim. Allerdings machen sich diese Unterschiede im Grundwasser selbst nicht allzu stark bemerkbar.

Angesichts des allgemein niedrigen Versalzungsgrades der Grundwässer ist es sehr schwierig, von jahreszeitlichen Schwankungen ihres Salzgehaltes zu sprechen. Die Leitfähigkeitswerte schwanken von einer Jahreszeit zur anderen nur um Bruchteile eines mmhos/cm. Lediglich im Profil IIIa findet eine leichte Zunahme der Mineralisierung statt, was jedoch bei den niedrigen Werten kaum von Bedeutung sein dürfte. Das Fehlen hoher Konzentrationen von Cl-Ionen als der beweglichsten chemischen Bestandteile ist die wichtigste Ursache für die weitgehende Ausgeglichenheit der Leitfähigkeitswerte in den Grundwasserproben der verschiedenen Profile. Die Ionen der Sulfate und Bikarbonate bewegen sich im Boden wesentlich langsamer, da ihre Löslichkeit stark von der Temperatur und dem CO_2 -Gehalt des Bodens abhängig ist.

Die Entnahme von Bodenproben gestaltete sich im Gebiet von Grund-Schwalheim wegen der ausgeglicheneren Grundwasserstände günstiger als auf den anderen Flächen. Es war daher möglich, eine größere Anzahl von Horizonten in jeder Jahreszeit zu erfassen.

In ihrem morphologischen Aufbau sind die Profile recht einheitlich. Es sind schwere Böden mit den weitaus höchsten Tongehalten unter sämtlichen untersuchten Profilen; ferner gehen sie ausnahmslos ab etwa 50 cm Tiefe in eine schwarzgefärbte Schicht über, die sich durch überaus hohen Humusgehalt (bis 18 %) und entsprechend hohen AK-Wert (80 mval/100 g Boden) auszeichnet. Die Eigenart dieses organischen Materials wurde nicht näher untersucht, da es sich herausstellte, daß die Verteilung der löslichen Salze nicht wesentlich von der Existenz dieses Untergrundes beeinflußt wurde. Lediglich die Gesamtgehalte der Austauschionen stiegen hier entsprechend den hohen AK-Werten sprunghaft an.

Wie es im Hinblick auf den niedrigen Salzgehalt der Grundgewässer zu erwarten war, konnten im Sättigungsextrakt der Bodenproben kaum irgendwelche nennenswerten Konzentrationen an leichtlöslichen Salzen festgestellt werden. Anstiege der Leitfähigkeitswerte bis etwa 3 mmhos/cm, wie z.B. im Profil IIIa sind im wesentlichen leichten Erhöhungen der Ca-Konzentrationen zuzuschreiben. Überhaupt setzen sich die Lösungen im Großen und Ganzen aus Bikarbonaten oder Sulfaten des Ca zusammen. Na - und Cl -Ionen liegen häufig nur in Spuren vor. Auch die Werte für Mg nähern sich in den ersten drei Profilen mehr denjenigen des Na .

Gleichlaufend mit der Salzverteilung im Grundwasser sticht wiederum im Profil IIIId die Salzzusammensetzung durch etwas höhere Konzentrationen von Mg , Na und Cl ab. Nichtsdestoweniger bleiben die Gesamtsalzgehalte in diesem Profil im Rahmen der Werte wie bei den übrigen Profilen, da eine entsprechende Verringerung der Ca-Konzentration stattfindet.

In ein und demselben Profil beobachtet man in allen Horizonten eine recht einheitliche Verteilung der Salzgehalte auch in den verschiedenen Jahreszeiten, wenn man von

leichten Schwankungen absieht, die sehr wohl innerhalb analytischer Fehlergrenzen liegen können. Die Tendenz einer leichten Salzzunahme jeweils in den oberflächennahen Horizonten einerseits und in den grundwassernahen Horizonten andererseits scheint allerdings in allen Profilen vorzuliegen. Es wurde bereits versucht, eine Erklärung dieser Erscheinung, falls sie wirklich zutrifft, bei der Besprechung der Profile von Wisselsheim zu geben. Möglicherweise kann auch in den Böden von Grund-Schwalheim das angedeutete Salzminimum im Mittelteil der Profile zu der Verteilung der Korngrößen in Beziehung gebracht werden. Ähnlich wie in Wisselsheim (Profil IIb) ist hier im allgemeinen ebenfalls eine Differenzierung der Horizonte hinsichtlich ihrer Ton- und Sandgehalte feststellbar. Eine zumindest teilweise Unterbrechung der kapillaren Wasser- bzw. Salzbewegung wäre dann möglich. Doch sei noch einmal betont, daß die wegen der allzu geringen Gesamtkonzentration sehr schwach ausgeprägte Dynamik der vorhandenen Salze eine eindeutige Schlußfolgerung nicht zuläßt.

In charakteristischer Weise demonstriert die Zusammensetzung des Ionenbelages der Austauschkomplexe in den einzelnen Profilen die untergeordnete Rolle des Na in den untersuchten Böden. Infolge seiner geringen Konzentration in der Bodenlösung vermag das Na nicht gegen die zweiwertigen Basen anzukommen, so daß sämtliche Profile frei von Austausch-Na sind.

Der weitaus größte Teil des Komplexes ist von Ca besetzt, dessen absolute Konzentrationen entsprechend den hohen AK-Werten der Böden beträchtlich über denen der beiden anderen Gebiete liegen. Mg folgt in den Profilen IIIa - IIIc mit erheblichem Abstand. Zwar nehmen die Konzentrationen beider Ionen in dem schwarzen Untergrundmaterial stark zu, jedoch bleibt der prozentuale Zuwachs des Mg -

Anteils gewöhnlich auch hier relativ gering, während die Anteile des Ca sowohl absolut als auch relativ stark zunehmen. Hingegen erfolgt im Mittelteil der erwähnten Profile öfters ein leichter Anstieg des Mg, was zu einer entsprechenden Abnahme des Ca führt. Da der Austauschkomplex in diesem Teil der Profile sich in der Regel aus überwiegend mineralischen Bestandteilen zusammensetzt, erreicht die Austauschkapazität nicht solch hohe Werte wie an der Oberfläche oder im Untergrund. Eine Verschiebung des Ca:Mg-Verhältnisses macht sich hier daher auch stärker bemerkbar.

Das Verhältnis $(Ca + Mg) : Na$ am Austauschkomplex entspricht im allgemeinen dem gleichen Verhältnis in der Bodenlösung der drei Profile. Wie bereits erwähnt, unterscheidet sich die Bodenlösung im Profil IIIId von den anderen Profilen durch etwas höhere Anteile des Mg und Na. Für einen entsprechenden Eintausch des einwertigen Na-Ions ist diese Konzentrationserhöhung allerdings zu gering. Umso stärker wirkt sich aber die Zunahme des löslichen Mg auf den Ionenbelag des Austauschkomplexes in diesem Profil aus. Erstmalig wird hier das Ca absolut und relativ in den Hintergrund gedrängt. Zwar überwiegt Ca noch einigermaßen im Oberflächenhorizont zu allen Jahreszeiten, jedoch weicht sein Anteil mit zunehmender Tiefe fortschreitend vor dem des Mg zurück. Mg herrscht im Profil IIIId zeitweise sowohl im Grundwasser als auch in Bodenlösung und Austauschkomplex vor. Diese Tatsache hängt zweifellos mit der Nähe des Profils zur Mineralquelle zusammen.

Mit der Darstellung dieser Verhältnisse in den untersuchten Böden kann die Möglichkeit für weitere Diagnosen für das Grund-Schwalheimer Versalzungsgebiet wohl als erschöpft betrachtet werden. Auf der einen Seite fehlt das Na als das beweglichste Kation, andererseits vermag das Mg als zweiwertiges Element wesentlich länger mit Ca

zu konkurrieren und ist demnach weniger geeignet, als richtungsweisender Faktor in der Dynamik des Salzhaushaltes zu dienen.

Es ist zu betonen, daß die hier gemachten Aussagen nur für diesen Untersuchungszeitraum gelten, da ein solcher Versalzungsprozeß besonders im feuchteren Klima häufigen Rückentwicklungen unterworfen ist.

IX. KLASSEFİKATİON DER UNTERSUCHTEN SALZBÖDEN

Die zahlreichen Untersuchungen in der Salzbodenforschung machten im Laufe der Zeit die Schaffung einer Systematik erforderlich. Für die mitteleuropäischen Verhältnisse sind die Salzböden jedoch nur von theoretischem Interesse.

In Deutschland spricht man von Neutralsalzböden, Salzalkaliböden und Alkaliböden, während die Bezeichnungen der amerikanischen und russischen Literatur international gebräuchlich sind:

Saline - soils	Solontschak
Saline - alkali - soils	Solonez
Nonsaline - alkali - soils	Solod

Es ist nicht einfach, die Salzböden in ein Ordnungsprinzip einzureihen, welches gleichzeitig allen Forderungen physikalischer, chemischer oder biologischer Art gerecht wird. Die Einordnung ist umso schwieriger, je größer die Zahl der zur Kennzeichnung herangezogenen Merkmale ist.

HILGARD (1914) nannte alle Böden Alkaliböden, die in irgendeiner Form leichtlösliche Salze enthalten und unterteilte diese nach Menge und Art des vorliegenden Na -Ions. Eine weitere Einteilung, die der russischen Auffassung sehr ähnelt, stammt von DE SIGMOND (saline Böden, saline Alkaliböden, desalinierte Alkaliböden, degradierte Alkaliböden). Sie wird bei der Erforschung der westamerikanischen Trockenböden angewandt. Hierbei wird nicht die prozentuale Gesamtmenge der vorhandenen Salze, sondern die elektrische Leitfähigkeit des Bodenextrakts berücksichtigt.

Nach amerikanischer Nomenklatur unterscheidet man drei verschiedene Salzbodengruppen:

1. SALINE - SOILS (NEUTRAL - SALZBÖDEN). Ihr Gehalt an leichtlöslichen Salzen ist so hoch, daß die meisten Kulturpflanzen in ihrem Wachstum gestört werden. Die Leitfähigkeit des Bodenauszugs liegt über 4 mmhos/cm, und der Gehalt an Austausch-Na beträgt weniger als 15 %. Ihr pH-Wert liegt zumeist unter 8,5. Die löslichen Salze sind hauptsächlich Chloride, Sulfate, etwas Bikarbonat und gelegentlich Nitrat. Meistens sind keine meßbaren Mengen von Karbonaten vorhanden.
2. SALINE - ALKALI - SOILS (SALZALKALIBÖDEN). Sie enthalten neben löslichen Salzen größere Mengen an austauschbarem Natrium. Die Leitfähigkeit des Bodenauszugs liegt meist wenig über 4 mmhos/cm, und der Anteil an austauschbaren Na -Ionen ist größer als 15 %. Der pH-Wert liegt selten über 8,5. Wenn diese Böden Na_2CO_3 enthalten, werden sie stark alkalisch, und der pH-Wert kann bis 11,0 ansteigen. Die Bodenkolloide dispergieren, und die Wasserdurchlässigkeit nimmt ab.
3. NONSALINE - ALKALI - SOILS (ALKALIBÖDEN). Diese Gruppe enthält über 15 % Austausch-Na, sie weist keine größeren Salzmenngen auf. Die Leitfähigkeit des Bodenauszugs ist daher geringer als 4 mmhos/cm, und der pH-Wert liegt gewöhnlich zwischen 8,5 und 10,0. Diese Böden entsprechen etwa DE SIGMOND's desalinierten Alkaliböden, HILGARD's black-alkali-soils und dem russischen Solonez.

Grenzwerte für die amerikanische Nomenklatur:

Bezeichnung	Leitfähigkeit	Austausch-Na	pH-Wert
Neutralsalzböden	> 4 mmhos/cm	< 15 %	< 8,5
Salzalkaliböden	> 4 mmhos/cm	> 15 %	~ 8,5
Alkaliböden	< 4 mmhos/cm	> 15 %	> 8,5

Die untersuchten Böden im Bereich der Wetterau sind im allgemeinen durch hohen Salzgehalt gekennzeichnet. Die Leitfähigkeitswerte liegen über 4 mmhos/cm und reichen bei Profil Ib in Münzenberg bis 29,2 mmhos/cm. In Wisselsheim schwanken die löslichen Salze im Grundwasser zwischen 12,8 und 22,7 mmhos/cm, während sie in Grund-Schwalheim unter 4 mmhos/cm liegen. Der Anteil der Na -Ionen am Sorptionskomplex ist gewöhnlich geringer als 15 %, und in Grund-Schwalheim ist kein sorbiertes Na vorhanden. Die pH-Werte liegen im neutral bis schwach alkalischen Bereich. Unter den gelösten Bestandteilen stehen Natrium- und Chloridionen an erster Stelle.

Die Dynamik der vorhandenen Salze im humiden Klima der Wetterau zeigt deutlich, daß der Salzkreislauf nicht nur vom Klima, sondern auch von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens abhängig ist. Trotz des hohen Natriumgehaltes in den Quell- und Grundwässern kommt es nirgends zu einer fortschreitenden Alkalisierung der Böden. Die ständige Zufuhr von zweiwertigen Erdalkalimetallen im Sorptionskomplex verhindert eine Natriumanlagerung, Natrium bleibt daher weitgehend in der Außenlösung und Calcium überwiegt an den Sorptionsträgern.

Im Gegensatz zu den Salzböden im ariden Klima weisen die untersuchten Böden mächtige Humushorizonte auf (im Oberboden durchschnittlich 4,5 %), und stark auffallende Rostflecken befinden sich in den darunterliegenden G_o -Horizonten. Es sind braungefärbte, relativ schwere Böden mit hohem Tongehalt. Bei den untersuchten Profilen handelt es sich um Gleye mit schwankendem Grundwasser, so daß G_o - und G_r -Horizonte unter dem relativ mächtigen Humushorizont ausgebildet sind.

Der Grundwasserspiegel schwankt zwischen 35 und 90 cm unter Flur. Die Vegetation besteht hauptsächlich aus Schilf und

Halophytengesellschaften, und nirgends ist ein Pflanzenschwund zu beobachten.

Aufgrund der chemischen Kennwerte, insbesondere ihrer Leitfähigkeit (Profil Ic, Id, IIa, IIb, IIc), müßten diese Böden in die Gruppe der Solontschake (Neutralsalzböden) eingereiht werden. DAPPER, H. (1964) hat sie daher aufgrund seiner Untersuchungen in diese Gruppe eingeordnet.

In einem Fall (Profil Ib in Münzenberg) hat der Boden bis 28 % Austausch-Na und müßte als Salzalkaliboden bezeichnet werden.

In Grund-Schwalheim (Profil IIIa, IIIb, IIIc, IIId) und bei dem Profil Ia in Münzenberg liegen die Leitfähigkeitswerte unter 4 mmhos/cm. Na ist nicht sorbiert. Daher können wir diese Böden analytisch nur als schwach versalzte Schwemmlandböden oder schwach versalzte Gleye ansprechen.

Diese Bezeichnungen sind aufgrund der Analysendaten gerechtfertigt. Jedoch spricht die Profilausbildung nicht für diese Benennungen. Eine stetige Salzzufuhr ist durch die Quellen zwar immer gegeben, jedoch findet hier im humiden Klima bei vergleichsweise geringer Verdunstung keine Salzanreicherung in den oberen Horizonten statt.

Vielmehr ist bei gleichmäßiger Salzzufuhr mit erheblicher Auswaschung durch den Niederschlag zu rechnen.

Da die humiden Klimabedingungen sich sehr stark in der Profilausbildung zeigen, muß bei der Klassifizierung darauf Bedacht genommen werden. Die Einreihung in die Gruppe der "Solontschaks", wie sie DAPPER vornimmt, kann daher nicht befriedigen. Um den besonderen Verhältnissen Rechnung zu tragen und sowohl Salzursprung als auch die durch das humide Klima geprägte Morphologie und Hydrologie zum Ausdruck zu bringen, wird vorgeschlagen, die Begriffe

"Quelle", "humos" und "Gley" oder "Naßgley" mit in die Benennung einzubeziehen.

Wir schlagen daher vor, diese Böden als "Humose Quellsalzgleye" zu bezeichnen.

Die Leitfähigkeitswerte und auch die Na-Sorption rechtfertigen zwar die Einordnung in die Salzboden-Nomenklatur (DAPPER), doch sind die Profile so stark durch die Akkumulation der organischen Substanz geprägt, daß dieses Merkmal bei der Einstufung unbedingt berücksichtigt werden muß.

Für die Profile Ic, Id, IIa, IIb, IIc wäre daher die Bezeichnung "Humoser Quellsalznaßgley" am treffendsten, weil in diesen Böden das Grundwasser häufig, insbesondere während der Wintermonate, bis fast an die Oberfläche ansteht.

Für das Profil Ib in Münzenberg käme die Benennung "Humoser Quellsalzalkalinaßgley" in Frage. Durch diese Bezeichnung wird der hohen Natriumsorption in diesem Boden Rechnung getragen.

Für die Profile IIIa, IIIb, IIIc, IIId in Grund-Schwalheim und Ia in Münzenberg würde die Benennung "Schwach versalzter humoser Naßgley" zutreffen.

X. ZUSAMMENFASSUNG

In der Wetterau vorkommende Mineralquellen beeinflussen in ungünstiger Weise die holozänen Schwemmlandböden. Die in das Grundwasser gelangenden Salze dieser Quellen werden an verschiedenen Stellen bis in den durchwurzelten Boden gefördert. Hieraus sich ergebende chemische und physikalische Veränderungen im Boden bewirken eine Verdrängung der wertvollen und ertragreichen Wiesenflora durch minderwertige Halophytengesellschaften.

Chemische Untersuchungen einiger Grundwässer und der unter ihrem Einfluß stehenden Böden haben gezeigt, daß sowohl die absoluten Gehalte als auch die gelösten Bestandteile ständig wechselnde Größen in Abhängigkeit von der Jahreszeit, der Verbreitung und der Verteilung im Bodenprofil darstellen, obwohl Mineralisierungsgrad und chemische Zusammensetzung der Quellwässer über weite Strecken hin recht einheitlich sind.

Es wurden Messungen des Salzgehaltes und der Salzzusammensetzung der Bodenlösung an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt. Die Ergebnisse lassen die Veränderungen der ursprünglichen Beschaffenheit der Quellwässer auf dem Wege zur durchwurzelten Bodenzone in den untersuchten Landschaftsteilen erkennen. Sie scheinen eine Funktion von Niederschlagsintensität und Abflußmöglichkeit des Grundwassers zu sein. Zu jedem Zeitpunkt spiegeln die an einer Stelle vorgefundenen Salzkonzentrationen die sich gegenseitig verstärkenden oder abschwächenden Einflüsse des Salzzuflusses aus den Mineralquellen, den Grundwasserschwankungen wider. Eine gesicherte Aussage über den Einfluß des jahreszeitlich bedingten Verhältnisses von Niederschlag zur Verdunstung kann aufgrund der zu kurzen Untersuchungsperiode nicht gemacht werden. Ein periodischer Wechsel oder Kreislauf der Salz-

gehalte in den untersuchten Böden scheint sich aber abzuzeichnen.

In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich bei den im Bodenwasser gelösten Substanzen um Ionen des Natriums und Chlorids. Stellenweise erreichen ihre Konzentrationen Werte von 25 mval/100g Boden. Calcium und Magnesium liegen in Form ihrer Bikarbonate oder Sulfate in weit geringerer Konzentration vor. Überraschenderweise bleibt jedoch eine erwartete entsprechend hohe Sättigung des Austauschkomplexes mit Natrium meistens aus. Calcium steht unter den austauschbaren Kationen an führender Stelle und folgt nur relativ schwach den jahreszeitlichen Schwankungen der Salzkonzentrationen in Grundwasser und Bodenlösung, im Gegensatz zu Natrium und auch Magnesium.

Die trotz hoher Natriumkonzentration in der Bodenlösung relativ geringe Na-Sorption in einer Reihe der untersuchten Böden mag dadurch begründet sein, daß das Natrium in seinen neutral reagierenden Verbindungen (NaCl , Na_2SO_4) vorliegt. Die relativ niedrigen pH-Werte verhindern somit eine Ausfällung des Calciums als Karbonat oder Sulfat. Die zweiwertigen Calcium- und Magnesium-Ionen werden daher bevorzugt am Tonkomplex angelagert, so daß Natrium weitgehend in der Außenlösung bleibt. Nur in wenigen Fällen konnten Austauschnatriumwerte von über 20 % festgestellt werden. Hierbei handelt es sich um Böden, die unmittelbar von natriumreichem Grundwasser aus nahegelegenen Salzquellen beeinflußt werden.

Alle untersuchten Böden tragen ohne Ausnahme eine dichte Grasvegetation. Infolgedessen zeichnen sie sich durch einen hohen Humusgehalt aus. Möglicherweise ist dies ein weiterer Grund für die Beweglichkeit des Calciums, das bei genügend hoher CO_2 -Konzentration auch als Bikarbonat in Lösung bleibt.

Die hohe Ca-Anlagerung am Austauschkomplex dürfte bei etwaiger Einsetzung von Entsalzungsprozessen die Auswaschung der Natriumsalze aus den allgemein tonigen Böden beschleunigen, wie dies in Grund-Schwalheim festgestellt wurde, wo die Mineralquellen seit einiger Zeit wegen Mineralwassergewinnung ihren Einfluß auf die umliegenden Böden verloren haben. Hier sind die Böden wegen der hohen Austauschcalciumanteile sehr wahrscheinlich in einer durchaus günstigen Entwicklung begriffen.

Auf Grund der Analysenergebnisse wäre eine Zuordnung der Böden nach der amerikanischen Salzboden-Nomenklatur in die Gruppe der Saline - soils oder Saline - alkali - soils vertretbar. Die starke Humusaufgabe als Folge der humiden Klimaeinflüsse tritt aber in den Profilen stark in den Vordergrund. Daher wird vorgeschlagen, die Böden als "Humose Quellsalznaßgleye" und in einem Fall als "Humose Quellsalzalkalinaßgley" zu bezeichnen. Für weitere Profile mit geringerer Versalzung wurde die Bezeichnung "Schwach versalzter humoser Naßgley" gewählt.

LITERATURVERZEICHNIS

- ANTIPOV-KARATAEV, I.N. : Melioration der Solonezböden in der UdSSR, Izdatel'stvo Akademii, Nauk SSSR, Moskva (1953).
- ATTERBERG, A.: Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralböden Schwedens. Internat. Mitteilungen, Bodenkunde 2, 312 - 342, (1912).
- BOROVSKIY, V.M.: Die Böden des Bewässerungsgebietes von Ksyl-Orda. Izdatel'stvo, Akademii Nauk, SSSR, Moskva (1954).
- CHAPMAN, V.J.: The halophyte Problem in the light of recent investigations, Quart. Rev. Biol. 11, 209-220, (1936).
- DAPPER, H.: Der Kreislauf des Chlorids dargestellt an einem binnenländischen Halophytenstandort. Diss. Gießen, 1964.
- DI GLERIA, KLIMES-SZMIK, DVORACEK: Bodenphysik und Bodenkolloidik Gustav Fischer Verlag, Jena (1962).
- ENSLIN, O.: Über einen Apparat zur Bestimmung der Flüssigkeitsaufnahme von quellbaren und porösen Stoffen und zur Charakterisierung der Benetzbarkeit. Chem. Fabrik, Berlin (1933).
- v. ERFFA, A.: Erläuterung zur geologischen Karte, Blatt Butzbach. Diplomarbeit, Gießen (1969).
- FABER, K.: Die Salzstellen und Salzflora der Provinz Hessen-Nassau und ihre Nachbargebiete. Oberhess. Ges. f. Natur- und Heilkunde, Naturwiss. Abt. 13, Gießen (1930).
- GESSNER, F.: Ökologische Untersuchung an Salzwiesen. I Salz- und Wassergehalt des Bodens als Standortfaktoren. Ihre Abhängigkeit vom Gefälle. Mitt. Naturwiss. Verf. f. Neuvorpommern und Rügen in Greifswald. 57-58, 53-77, (1929/1930).

- HILGARD, E.W.: Soils. New York, 1914.
- JANITZKY, P.: Salz und Alkaliböden und Wege zu ihrer Verbesserung. Diss. Gießen, 1957.
- JUNG, L. und NEMETH, K.: Untersuchungen über die Ionennachlieferung in einigen nordpersischen Böden. Zeitschr. f. Pflanzenern., Düng., Bodenk., Band 113, Heft 2, 131-140 (1966).
- JUNG, L. und ROHMER, W.: Vergleichende Untersuchungen über die Eignung von Natrium-pyrophosphat und Calgon zur Dispergierung von CaCO_3 -haltigen sowie tonreichen Böden. Zeitschr. f. Kulturtechn. und Flurbereinigung, 7, Heft 5, S. 268 (1966).
- KELLEY, W.P.: Alkalisoils, their Formation, Properties and Reclamation. Reinhold Publishing Corporation New York, 1951.
- KNOCH, K.: Klimaatlas von Hessen herausgegeben vom Deutschen Wetterdienst in der U.S.-Zone Bad Kissingen (1950).
- KÖHN, M.: Beiträge zur Theorie und Praxis der mechanischen Bodenanalyse. Landw. Jahrbuch 67, 485 - 546.
- KÖSTER, E.: Mechanische Gesteins- und Bodenanalyse, Carl Hanser Verlag, München (1960).
- KOHL, F.: Die Bodenkarte 1:25000 Hannover 1965.
- KUBIENA, W.L.: Entwicklungslehre des Bodens Springer, Wien (1948).
- KUHESTANI, E.: Salz- und Alkaliböden und die Schwierigkeiten bei ihrer Bewässerung, Teheran, 1965.
- LAUTERBACH, L.: Die Salzflora von Bad Nauheim und Wisselsheim, Ber. Senckenberg. Naturforsch. Ges. (1920) 50. 143 - 152.

- LOTZE, F.: Wie entstehen Schrumpfungsklüfte? Natur und Mus. 62, Frankfurt/M. (1932).
- LUDWIG, W.: Über die frühere Verbreitung und das heutige Vorkommen von Quellen in der Wetterau. Naturk. 89, 31 - 45 (1956).
- LUDWIG, W.: Über einige unwahrscheinliche Angaben zur Flora der Wetterauer Salzstellen. Ber. Oberhess. Ges. f. Natur und Heilkunde. Gießen 28, (1958).
- LUDWIG, W.: Der Queller (*Salicornia europaea*) in der Wetterau, Natur und Volk 80, 176 - 180 (1950).
- LÜKEN, H.: Saline soils under dryland agriculture in southeastern Saskatchewan (Canada) and possibilities for their improvement Distribution and Composition of watersoluble salts in relation to physiographic features and plant growth. Plant and Soil 17, (1962).
- MEHLICH, A.: Determination of cation and anion exchange Properties of soils. Soil Sci 60 (1948).
- MERCK, E.: Komplexometrische Bestimmung mit Titriplex. E. Merck AG, Darmstadt, 1960.
- MÜLLER-STOLL, W.R.: Über seltene und ausgestorb. Salzpfl. der Wetterau. Beitr. naturkundl. Forsch. Südwestdeutschl. H. 10, 35-43 (1951).
- NEHRING, K.: Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Dünge- und Futtermittel, Böden und Milch, Hamburg - Berlin (1960).
- OSWALD, H.: Die Bad Nauheimer und Wisselsheimer Salzpfl. und ihr Schutz. Bad Nauheim (1927).
- RICHARDS, L.A.: Diagnosis and improvement of saline and alkalisols, United States Salinity laboratory staff. Department of Agric. (1954).

- ROHMER, W.: Die Bodenversalzung als Ursache für Ertragsminderung bei Nahrungspflanzen in den ariden und semiariden Gebieten. Zeitschr. Tropenlandwirt 68. Jahrg., 1967.
- SCHEFFER, F. - SCHACHT-SCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde 6. Aufl. Stuttgart (1966).
- SCHEIBLER, C.: Gasvolumetrische Bestimmung der Kohlensäure, Wissmann-Nehring, Agrikulturchemisches Praktikum. Verlag Paul Parey, Berlin, 2. Auflage (1951).
- SCHÖNHALS, E.: Das Auftreten der Mineralquellen bei Bad Nauheim. Zeitschr. der Deutschen Geologischen Ges. Band 85, Jahrgg. 1933, H. 7.
- SCHÖNHALS, E.: Geologie der Umgebung von Bad Nauheim und Friedberg. Diss. Gießen (1936).
- SCHÖNHALS, E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. - Abh. d. hess. Landesamtes f. Bodenforschung H.2, Wiesbaden (1954).
- SCHULZ, A.: Die Verbreitung der Halophilen Phanerogamen in Mitteleuropa nördlich der Alpen. Forsch. deutsch. Landes in Volksknd. 13, H. 4, J. Engelhorn, Stuttgart (1901).
- SIGMOND, A.A.J.: Böden, trockene Gebiete, Salzböden. E. Blanks Handbuch und Bodenlehre 3, Berlin (1930) 314 - 340 .
- STÄHLIN und BOMMER: Gründlandwirtschaftliche Untersuchungen an Binnendeutschen Salzstandorten. Zeitschr. f. Acker- und Pflanzenbau 106 Band, (1958).
- STÄHLIN und BOMMER: Ein Beitrag zur Kenntnis der Wetterauer Salzflora. Ber. Oberhess. Ges. f. Natur- und Heilkunde 29, (1958).
- SUVALOV, S.A.: Die Ländereien der südwestlichen Bewässerungszone des turkmenischen Hauptkanals. Isdatel'stvo Akademii Nauk SSSR Moskva (1952).

- THUN, R., HERRMANN, R. und KNICKMANN, E.: Die Untersuchung von Böden. Band I., Neumann-Verlag, Berlin (1955).
- TOOGOOD, J.A. und PETERS, T.W.: Comparison of methods of mechanical analysis of soils. Cand. Journ. of Agr. Sci., 33 P. 159, (1953).
- U.S. SALINITY LABORATORY STAFF: Diagnosis an improvement of saline and alkali soils. U.S.D. Handbook No. 60 (1954).
- WALTER, H. und LIETH, H.: Klimadiagramm-Weltatlas VEB Gustav Fischer Verlag, Jena (1960).
- WIESSMANN, H. - NERING, K.: Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden. Verlag Paul Parey Hamburg u. Berlin (1960).
- WOLKEWITZ, H.: Die physikalischen Eigenschaften, ihre methodische Erfassung und ihre Veränderung durch verschiedene Faktoren, dargestellt an Modellsubstanzen. Habilitationsschrift, Berlin (1964).

Es sei mir gestattet, Herrn Prof. Dr. L. Jung für die Überlassung des Themas, für die wissenschaftliche Anleitung und verständnisvolle Betreuung dieser Arbeit zu danken. Herrn Prof. Dr. E. Schönhals danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und die wertvollen Anregungen.

Meine Anerkennung gebührt Herrn Wiss. Assistent Dr. W. Rohmer für die Hilfe bei der Durchführung der Laborarbeiten.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. P. Janitzky für seine nützlichen Ratschläge bei der Auswahl der Profile und Lösung aller Probleme der Arbeit.

Frau G. Siedow und Fräulein U. Schultheis sage ich herzlichen Dank für die gewissenhafte und saubere Durchführung der Schreibarbeiten.

Lebenslauf

Sirus Ebrahimi-Ardjomand, geboren am 19. Oktober 1939
in Täbriz / IRAN.

1946 - 1953	Besuch der Volksschule
1953 - 1959	Besuch des Gymnasiums
Mai 1959	Abitur (Naturwissenschaft)
Ab August 1960	Landwirtschaftliches Praktikum in Widdert / Solingen
1961 - 1965	Studium der Landwirtschaft an der Justus Liebig-Universität, Gießen
März 1965	Diplom-Hauptprüfungen
Ab Oktober 1965	Mit der Doktorarbeit am Tropen- Institut der Justus Liebig- Universität in Gießen, Abteilung Bodenkunde und Bodenerhaltung be- schäftigt.

FOTO-DRUCK LENZ · 63 Gießen · Riegelpfad 32/Ecke Ludwigstraße
Telefon 0641-77449